

Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde
der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

***Zusammenhang von Veränderungen der knöchernen
Strukturen des Hufbeins beim Englischen Vollblut und
dem Auftreten von Hufrehe***

von Carina Mederle

aus Augsburg

München 2015

Aus dem Zentrum für klinische Tiermedizin der Tierärztlichen
Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München

Lehrstuhl für Innere Medizin und Chirurgie des Pferdes sowie
Gerichtliche Tiermedizin

Arbeit angefertigt unter der Leitung von: Univ.-Prof. Dr. Hartmut Gerhards

**Gedruckt mit der Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians Universität München**

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Joachim Braun

Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. Hartmut Gerhards

Korreferent/en: Univ.-Prof. Dr. Ellen Kienzle

Tag der Promotion: 31. Januar 2015

MEINEN ELTERN

INHALTSVERZEICHNIS

I.	EINLEITUNG	1
II.	LITERATURÜBERSICHT	2
1.	Definition der Hufrehe.....	2
2.	Anatomie	3
2.1.	Hufbein und dessen Aufhängeapparat.....	3
2.2.	Blutversorgung	6
3.	Ätiologie und Pathogenese.....	9
4.	Einteilung und Verlauf	12
5.	Vorkommen	14
6.	Diagnose	15
6.1.	Klinische Untersuchung	15
6.1.1.	Symptomatik	15
6.1.2.	Einteilung der Lahmheitsgrade	16
6.2.	Röntgenologische Untersuchung.....	18
6.2.1.	Lateromediale bzw. mediolaterale Aufnahme	18
6.2.2.	Dorsopalmare Aufnahme	23
6.3.	Weitere Untersuchungsmethoden	24
6.3.1.	Angiographie	24
6.3.2.	Thermographie	25
6.3.3.	Szintigraphie.....	25
6.3.4.	Computertomographie und Magnetresonanztomographie	26
6.4.	Klassifizierungssystem.....	27
7.	Differenzialdiagnosen.....	37
8.	Therapie	38

8.1.	Medikamentöse Therapieansätze	39
8.1.1.	Entzündungshemmende Medikamente	39
8.1.2.	Antikoagulanzen	40
8.1.3.	Durchblutungssteigernde Medikamente.....	40
8.1.4.	Analgetische Therapie	40
8.1.5.	Therapie zur Regulierung der Matrix-Metallo-Proteinase	41
8.2.	Orthopädische Therapieansätze.....	42
8.3.	Chirurgische Therapieansätze	44
8.4.	Optimales Management des Hufrehe-Patienten	46
9.	Prognose	47
III.	MATERIAL, METHODEN, UND ZWISCHEN - ERGEBNISSE ...	50
1.	Versuchsreihe I mit Zwischenergebnissen	50
1.1.	Patientengut	50
1.2.	Versuchsaufbau	51
1.2.1.	Vorbereitung.....	52
1.2.2.	Radiologische Untersuchung.....	52
1.2.3.	Pathologisch-anatomische Untersuchung	53
1.3.	Bildmaterial	54
1.4.	Ergebnisse	57
1.5.	Interpretation	58
2.	Versuchsreihe II mit Zwischenergebnissen	59
2.1.	Patientengut	59
2.1.1.	Pathologisch-anatomische Untersuchung	60
2.2.	Bildmaterial	60
2.3.	Ergebnisse	60

2.4.	Interpretation	65
3.	Versuchsreihe III mit Zwischenergebnissen.....	66
3.1.	Patientengut	66
3.2.	Versuchsaufbau	67
3.2.1.	Vorbereitung.....	67
3.2.2.	Radiologische Untersuchung.....	67
3.2.3.	Pathologisch-anatomische Untersuchung	67
3.3.	Bildmaterial	67
3.4.	Ergebnisse	67
3.5.	Interpretation	68
4.	Versuchsreihe IV mit Zwischenergebnissen	69
4.1.	Patientengut	69
4.2.	Versuchsaufbau	69
4.2.1.	Vorbereitung.....	69
4.2.2.	Radiologische Untersuchung.....	70
4.2.3.	Pathologisch-anatomische Untersuchung	70
4.3.	Bildmaterial	70
4.4.	Ergebnisse	70
4.5.	Interpretation	71
5.	Versuchsreihe V mit Zwischenergebnissen.....	72
5.1.	Patientengut	72
5.2.	Versuchsaufbau	72
5.2.1.	Vorbereitung.....	73
5.2.2.	Radiologische Untersuchung.....	73
5.2.3.	Pathologisch-anatomische Untersuchung	73

5.3.	Bildmaterial	73
5.4.	Ergebnisse	73
5.5.	Interpretation	74
IV.	ERGEBNISSE	75
1.	Ergebnisse der pathologisch-anatomischen Untersuchung.....	75
2.	Ergebnisse der röntgenologischen Untersuchung	83
3.	Ergebnisse der statistischen Auswertung.....	89
V.	DISKUSSION	105
1.	Untersuchungsmethoden	105
2.	Patientengut	108
3.	Bewertungsschema	110
4.	Interpretation	115
5.	Bedeutung für die Praxis	118
5.1.	Vorschlag für geeignete bildgebende Standardverfahren	118
5.2.	Vorschlag für ein Auswertungsschema.....	118
5.3.	Vorschlag zur chirurgischen Therapie	119
VI.	ZUSAMMENFASSUNG	120
VII.	SUMMARY.....	123
VIII.	LITERATURVERZEICHNIS	126
IX.	ANHANG	134
X.	DANKSAGUNG/ACKNOWLEDGEMENTS.....	135

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Schematische Darstellung der Anatomie des linken Hufbeins der Vordergliedmaße aus der Dorsal- und Palmaransicht (aus LIEBICH et al., 2009)	4
Abbildung 2: Anatomie der Nerven und Blutgefäße an der Zehe des Pferdes, Palmaransicht (aus RIEGEL und HAKOLA, 2010)	7
Abbildung 3: Nerven- und Blutgefäßversorgung am Hufbein (aus RIEGEL und HAKOLA, 2010)	8
Abbildung 4: Beispielbild zur Vorbereitung und Positionierung des Hufes/der Hufe zur Anfertigung einer lateromedialen Röntgenaufnahme im Rahmen einer Hufrehe-Diagnose.....	19
Abbildung 5: Beispielbild zur Vorbereitung des Hufes mittels einer gekürzten Reißzwecke zur Anfertigung einer lateromedialen Röntgenaufnahme im Rahmen einer Hufrehe-Diagnose	20
Abbildung 6: Beispiel einer 90°-Röntgen-Aufnahme eines Zehenpräparates zur Veranschaulichung der Messung des Palmarwinkels α	21
Abbildung 7: 0° - Aufnahme des Hufbeins der rechten Vordergliedmaße des Pferdes mit Untersuchungsnummer 12P438 (Stute, 14 Jahre)	55
Abbildung 8: 35° - Aufnahme des Hufbeins der rechten Vordergliedmaße des Pferdes mit Untersuchungsnummer 12P438 (Stute, 14 Jahre)	55
Abbildung 9: 90° - Aufnahme des Hufbeins der rechten Vordergliedmaße des Pferdes mit Untersuchungsnummer 12P438 (Stute, 14 Jahre)	55
Abbildung 10: 180° - Aufnahme des Hufbeins der rechten Vordergliedmaße des Pferdes mit Untersuchungsnummer 12P438 (Stute, 14 Jahre).....	56
Abbildung 11: 270° - Aufnahme des Hufbeins der rechten Vordergliedmaße des Pferdes mit Untersuchungsnummer 12P438 (Stute, 14 Jahre).....	56
Abbildung 12: 325° - Aufnahme des Hufbeins der rechten Vordergliedmaße des Pferdes mit Untersuchungsnummer 12P438 (Stute, 14 Jahre).....	56
Abbildung 13: Aufnahme zur Abbildung der Sohlenfläche des Hufbeins der rechten Vordergliedmaße des Pferdes mit Untersuchungsnummer 12P438 (Stute, 14 Jahre) ..	56

Abbildung 14: 35°-Aufnahme des Hufbeins der linken Vordergliedmaße des Pferdes mit Untersuchungsnummer 12P426 (Stute, 18 Jahre)	76
Abbildung 15: 325°-Aufnahme des Hufbeins der linken Vordergliedmaße des Pferdes mit Untersuchungsnummer 12P426 (Stute, 18 Jahre)	76
Abbildung 16: 35°-Aufnahme des Hufbeins der linken Vordergliedmaße des Pferdes mit Untersuchungsnummer 12P429 (Hengst, 20 Jahre)	77
Abbildung 17: 325°-Aufnahme des Hufbeins der linken Vordergliedmaße des Pferdes mit Untersuchungsnummer 12P429 (Hengst, 20 Jahre)	77
Abbildung 18: 0°-Röntgenaufnahme des Hufbeins der linken Vordergliedmaße des Pferdes mit Untersuchungsnummer 12P426 (Stute, 18 Jahre).....	84
Abbildung 19: 90°-Röntgenaufnahme des Hufbeins der rechten Vordergliedmaße des Pferdes mit Untersuchungsnummer 12P426 (Stute, 18 Jahre).....	85
Abbildung 20: 0°-Röntgenaufnahme des Hufbeins der linken Vordergliedmaße des Pferdes mit Untersuchungsnummer 12P46 (Stute, 16 Jahre).....	86
Abbildung 21: 35°-Röntgenaufnahme des Hufbeins der linken Vordergliedmaße des Pferdes mit Untersuchungsnummer 12P46 (Stute, 16 Jahre).....	86
Abbildung 22: 70°-Röntgenaufnahme des Hufbeins der linken Vordergliedmaße des Pferdes mit Untersuchungsnummer 12P46 (Stute, 16 Jahre).....	86
Abbildung 23: 90°-Röntgenaufnahme des Hufbeins der linken Vordergliedmaße des Pferdes mit Untersuchungsnummer 12P46 (Stute, 16 Jahre).....	87
Abbildung 24: 290°-Röntgenaufnahme des Hufbeins der linken Vordergliedmaße des Pferdes mit Untersuchungsnummer 12P46 (Stute, 16 Jahre).....	87
Abbildung 25: 325°-Röntgenaufnahme des Hufbeins der linken Vordergliedmaße des Pferdes mit Untersuchungsnummer 12P46 (Stute, 16 Jahre).....	87
Abbildung 26: Graphische Darstellung der geschlechterspezifischen Anteile an den Gesamtanteilen.....	90
Abbildung 27: Graphische Darstellung des Scores der Tiere der Versuchs- und Vergleichsgruppe in Abhängigkeit vom Alter	94
Abbildung 28: Graphische Darstellung des Scores der Tiere der Versuchs- und	

Vergleichsgruppe in Abhängigkeit vom Alter mit < 2-Jährigen.....	96
Abbildung 29: Graphische Darstellung des Scores des Bewertungskriteriums „Rauigkeit“ der Versuchs- und Vergleichsgruppe in Abhängigkeit vom Alter.....	97
Abbildung 30: Graphische Darstellung des Scores des Bewertungskriteriums „Überbauung“ der Versuchs- und Vergleichsgruppe in Abhängigkeit vom Alter	98
Abbildung 31: Graphische Darstellung des Scores des Bewertungskriteriums „Alternativsulcus/-ci“ der Versuchs- und Vergleichsgruppe in Abhängigkeit vom Alter	99
Abbildung 32: Graphische Darstellung des Scores des Bewertungskriteriums „Sulcustiefe“ der Versuchs- und Vergleichsgruppe in Abhängigkeit vom Alter	101
Abbildung 33: Graphische Darstellung der Korrelationen der beiden Bewertungskriterien „Sulcustiefe“ und „Überbauung“ innerhalb der Versuchs- und Vergleichsgruppe	102

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Klassifizierung von Pferden mit Hufrehe: Klinische Kriterien (aus FLOYD, 2009a).....	34
Tabelle 2: Klassifizierung von Pferden mit Hufrehe: röntgenologische Kriterien (aus FLOYD, 2009a); zur Begriffsklärung gilt Fußnote 1 auf Seite 22 der vorliegenden Arbeit.....	35
Tabelle 3: Klassifizierung von Pferden mit Hufrehe: venographische Kriterien – Vorliegen und Schweregrad von Füllungsdefiziten in der Zirkulation des Hufs (aus FLOYD, 2009a)	36
Tabelle 4: Geschlechts- und Altersverteilung in Versuchsreihe I.....	51
Tabelle 5: Alters- und Geschlechtsverteilung in Versuchsreihe II	60
Tabelle 6: Schema zur Ermittlung der Überbauung des Sulcus parietalis medialis und lateralis in %	63
Tabelle 7: Schema zur Bewertung der Tiefe des Sulcus parietalis medialis und lateralis in mm	63
Tabelle 8: Schema zur Bewertung der Rauigkeit der Wandfläche des Hufbeins	64
Tabelle 9: Schema zur Bewertung des Alternativsulcus/der Alternativsulci am Sulcus parietalis medialis bzw. lateralis	64
Tabelle 10: Alters- und Geschlechtsverteilung in Versuchsreihe III	66
Tabelle 11: Alters- und Geschlechtsverteilung in Versuchsreihe IV	69
Tabelle 12: Alters- und Geschlechtsverteilung in Versuchsreihe V	72
Tabelle 13: Ergebnisse der pathologisch-anatomischen Untersuchung des Pferdes 404 (Stute, 9 Jahre)	79
Tabelle 14: Score-Berechnung des Pferdes 404 (Stute, 9 Jahre) aufgrund der Ergebnisse der pathologisch-anatomischen Untersuchung	80
Tabelle 15: Alters- und Geschlechtsverteilung der Versuchsreihen gesamt.....	89
Tabelle 16: Übersicht der geschlechterspezifischen Anteile an den Gesamtanteilen ...	90
Tabelle 17: Statistische Ergebnisse des Kriteriums Sulcustiefe	91

Tabelle 18: Ergebnis t-Test (zweiseitig gepaart) des Kriteriums Sulcustiefe	91
Tabelle 19: Statistische Ergebnisse des Kriteriums Rauigkeit.....	92
Tabelle 20: Ergebnis t-Test (zweiseitig gepaart) des Kriteriums Rauigkeit	92
Tabelle 21: Statistische Ergebnisse des Kriteriums Überbauung	93
Tabelle 22: Ergebnis t-Test (zweiseitig gepaart) des Kriteriums Überbauung	93
Tabelle 23: Statistische Ergebnisse des Kriteriums Alternativsulcus/-ci.....	93
Tabelle 24: Ergebnis t-Test (zweiseitig gepaart) des Kriteriums Alternativsulcus/-ci ..	94

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

A.	Arteria	IU	International Unit
Aa.	Arteriae	i.v.	intravenös
Abb.	Abbildung	kV	Kilo-Volt
AVA	arteriovenöse Anastomose	kW	Kilo-Watt
bzw.	beziehungsweise	mAs	Milli-Ampere-Sekunden
ca.	circa	mgr.	mittelgradig
COX	Cyclooxygenase	ml	Milliliter
COX-1	Cyclooxygenase-1	mm	Millimeter
COX-2	Cyclooxygenase-2	MMP	Matrix-Metalloproteinasen
cm	Zentimeter	MRT	Magnetresonanztomographie
CT	Computertomographie	NSAIDs	Nicht-steroidale Entzündungshemmer
evtl.	eventuell	Tab.	Tabelle
ggf.	gegebenenfalls	OP	Operation
ggr.	geringgradig	Proc.	Processus
For.	Foramen	PW	Palmarwinkel
Forr.	Foramina	R.	Ramus
hgr.	hochgradig	Rr.	Rami
H-L-Zone	Horn/Lamellen-Zone	sog.	sogenannt(-e, -en, -es)
Inc.	Incisura	V.	Vena

I. EINLEITUNG

Hufrehe zählt auch heute noch zu den schwerwiegendsten und auch am häufigsten auftretenden Huferkrankungen des Pferdes (KNOTTENBELT und PASCOE, 2000). Obwohl die Erkrankung seit dem Altertum beschrieben wurde, sind immer noch viele Fragen bezüglich der Ätiologie, Pathologie und somit auch der Therapien offen (HERTSCH, 2008; POLLITT, 2009b).

Laut WATTLE und POLLITT (2004) wurde die reduzierte Durchblutung und damit einhergehende Ischämie der Lederhaut als eine der möglichen Hauptursachen der Entwicklung von Hufrehe beschrieben. Auch andere Autoren gehen auf die Durchblutungsstörung im Zusammenhang mit der Entstehung von Hufrehe ein, zum Beispiel als Folge einer Vasokonstriktion (TAYLOR und HILLYER, 2004). Umso erstaunlicher scheint es, dass bei den zahlreichen Untersuchungen zum Thema Hufrehe bisher kaum die Möglichkeit einer Kompression durch Knochenzubildungen der das Hufbein ver- und entsorgenden Blutgefäße in Betracht gezogen wurde.

Ziel dieser Arbeit ist es, einen möglichen Zusammenhang der Knochenzubildungen am Hufbein, im Speziellen an den Sulci parietales, und dem Auftreten von Hufrehe aufzuzeigen. Zu diesem Zweck werden röntgenologische und pathologisch-anatomische Untersuchungen an Gliedmaßen-Präparaten durchgeführt, ein adäquates Bewertungssystem für die pathologisch-anatomische Untersuchung entwickelt und die Bedeutung der Ergebnisse für die Praxis im Hinblick auf Diagnose, Prognose und Therapie bewertet.

II. LITERATURÜBERSICHT

1. Definition der Hufrehe

Hufrehe ist eine multifaktorielle Erkrankung des Hufes bei Equiden. Im Zentrum der Erkrankung steht dabei eine entzündliche Veränderung der Huflederhaut, die meist mit starken Schmerzen einhergeht und daher mitunter zu hochgradigen Lahmheiten führt. Durch Einschränkung einer ausreichenden Blutversorgung der Lederhaut (Corium) kommt es unter anderem zu einer Ischämie und einhergehender Nekrose. Unter weiterer Schädigung des Hufbeinträgers kann es zu einer Hufbeinrotation und/oder –absenkung bis hin zum Durchbruch des Hufbeins durch die Hufsohle oder dem Ausschuhlen des Hufbeins aus der Hornkapsel kommen (KNOTTENBELT und PASCOE, 2000; MORRISON, 2004; POLLITT, 2004; TAYLOR und HILLYER, 2004).

2. Anatomie

Der Huf des Pferdes besteht aus einem komplizierten Gesamtwerk aus vielen kleinen Einheiten, vereinfacht gesagt, stellt er die Hornkapsel der Zehenspitze mit den darin eingeschlossenen Teilen dar. Betrachtet man ihn in einem Sagittalschnitt, kann man folgende Schichten erkennen: Stratum externum (Saumhorn, Deck- oder Glasurschicht), Stratum medium (Kronhorn, Schutzschicht), Stratum internum (Wandhorn, Verbindungsschicht), die Lederhaut (Corium, je nach Hufregion Saum-, Kron-, Wand- oder Sohlen-, Strahl- oder Ballenlederhaut), jeweils medial und lateral eine faserknorpelige Insertionsstelle der Seitenbänder des Hufgelenks (mit Knochenhaut überzogen) und schließlich das Knochengewebe des Hufbeins (KÖRBER, 1997). Normalerweise sind Knochen außerhalb der Gelenke mit Periost umhüllt. Das Hufbein und die Hufknorpel stellen dahingehend eine Ausnahme dar – sie sind unmittelbar von der Lederhaut bedeckt (DAVIES et al., 2009).

In der vorliegenden Arbeit liegt bei Betrachtung der anatomischen Strukturen das Hauptinteresse auf denen, die unmittelbar mit der Hufrehe in Zusammenhang stehen und Teil der speziellen Versuche dieser wissenschaftlichen Arbeit sind.

Für eine tiefer gehende anatomische Betrachtung sei an dieser Stelle auf die bekannte einschlägige Fachliteratur verwiesen, die je nach Schwerpunkt, auch verstärkt auf die funktionelle Anatomie und Histologie eingeht (LIEBICH et al., 2009; SALOMON und GEYER, 2007; BUDRAS et al., 2004; NICKEL et al., 2004; DAVIES et al., 2009; WISSDORF et al., 2010).

2.1. Hufbein und dessen Aufhängeapparat

Das Hufbein entspricht dem dritten Zehenglied, auch Phalanx 3 (P3), Phalanx distalis oder Os ungulare genannt. Es hat eine halbrunde, der Hufform des Pferdes entsprechende Form und ist von vielen Gefäßlöchern durchzogen, wodurch es deutlich leichter als andere Knochen der Zehe des Pferdes ist. Die Sohlenfläche des Hufbeins ist halbmondförmig und glatt. Kaudal und proximal schließt sich die Beugesehnenfläche an, an der die tiefe Beugesehne ansetzt. Dazwischen befindet sich die Linea semilunaris, die die Beugesehnen- von der Sohlenfläche abgrenzt (NICKEL et al., 2004). Die Ansatzfläche des Strahlbein-Hufbein-Bands am

Hufbein wird an der kaudoproximalen Fortsetzung der Beugesehnenfläche ersichtlich. Zwischen der Linea semilunaris und der Ansatzstelle des Strahlbein-Hufbein-Bands findet man das For. soleare mediale bzw. laterale, zwei Löcher, durch die Blutgefäße verlaufen und die sich jederseits im Canalis solearis fortsetzen. Die Vereinigung beider dieser Kanäle findet in der Gefäßkammer im Inneren des Hufbeins statt. Am dorsoproximalen Ende des Hufbeins befindet sich der Proc. extensorius, eine sanfte Ausziehung, an der die Sehne des Zehenstreckers ansetzt. Weiterhin gibt es am Hufbein die Wandfläche, Facies parietalis, die sich in die Rücken- und Seitenabschnitte gliedert (NICKEL et al., 2004). An der jeweiligen Seitenfläche befindet sich ein palmarer Fortsatz, welcher Richtung Trachten verläuft, der Processus palmaris medialis bzw. lateralis. Besagter Fortsatz endet entweder durch einen Einschnitt, Inc. processus palmaris, oder, falls er sich zu einem Astloch schließt, durch das For. processus palmaris. Jeder der palmaren Fortsätze enthält eine Rinne, genannt Sulcus parietalis oder Wandrinne, welche Blutgefäße enthält. Wo die Wand- und Sohlenfläche aufeinander treffen, befindet sich der Tragrand, welcher im gesunden Zustand eine halbkreisförmige, gleichmäßige Form aufweist (NICKEL, et al., 2004).

Der Unterschied von Vorder- zu Hinterbein ist beim Hufbein anatomisch nur gering. Am Hufbein der Hinterzehe ist die Wandfläche vor allem medial steiler und die Sohlenfläche ist etwas stärker gewölbt und weist eine eher längsovale Form auf (NICKEL et al., 2004; DAVIES et al., 2009).

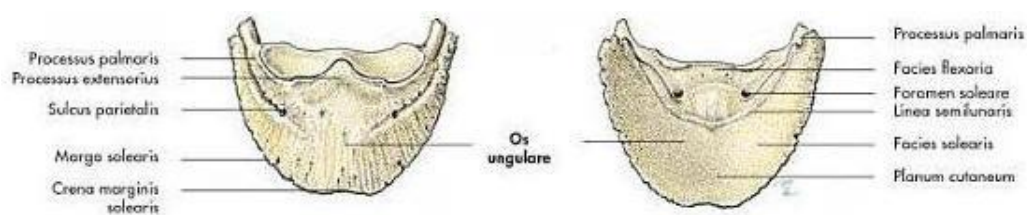


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Anatomie des linken Hufbeins der Vordergliedmaße aus der Dorsal- und Palmaransicht (aus LIEBICH et al., 2009)

Um pathophysiologische Vorgänge im Zusammenhang mit Hufrehe einschätzen zu können, ist ein genauerer Blick in die mikroskopische Anatomie des Hufes und den Aufhängeapparat des Hufbeins empfehlenswert. Unter dem Aufhängeapparat/Hufbeinträger (Apparatus suspensorius ossis ungulae) des Hufes versteht man alle bindegewebigen und epithelialen Strukturen im Wandsegment, zusammengefasst als Funktionseinheit. Dazu gehören die Wandlederhaut (Dermis parietis) und die

Wandepidermis (Epidermis parietis). Der Hufbeinträger hat die Aufgabe, die Druckkraft, die durch das Körpergewicht des Pferdes auf dem Hufbein lastet, in Zugkraft umgewandelt auf die Hufplatte (bestehend aus Saum-, Kron- und Wandhorn) und so auf den Tragrand des Hufes zu übertragen (BUDRAS et al., 2004, WISSDORF et al., 2010).

Die innere Oberfläche der Hufwand besteht aus ca. 550-600 primären epidermalen Lamellen (Hornblättchen), angeordnet in parallelen Reihen. Jede Primärlamelle weist wiederum ca. 150-200 sekundäre epidermale Lamellen auf, wodurch die gesamte Oberfläche der Hornblättchen massiv vergrößert wird. Die Oberfläche der inneren Hufwand des Pferdes erreicht so durchschnittlich in etwa 0,8m² (RIEGEL und HAKOLA, 2010; POLLITT, 2009a). Durch diese große Oberfläche, die zur Aufhängung des Hufbeins dient, und den starken Zusammenhalt der interdigitalen Blättchenbauweise wird der Stress reduziert und gleichzeitig die Energieübertragung während der größten Belastung des Pferdehufes gesichert. Die Lamellen der inneren Hufwand weisen keine Blutgefäße auf. Deshalb sind sie bezüglich Nährstoffversorgung und Gasaustausch von den Kapillaren der Mikrozirkulation der anschließenden Dermis abhängig (POLLITT, 2009a).

Die Huflederhaut liegt unterhalb der Hufwand und besteht aus einer dichten Matrix von festem Bindegewebe. Sie ist von zahlreichen Blutgefäßen und sensorischen und vasomotorischen Nerven durchzogen. Bis auf die Blättchenlederhaut haben alle oben bereits erwähnten Anteile der Lederhaut Papillen, die genau in die epidermalen Lamellen der benachbarten Hufwand passen. So wird über die dichte Matrix des Lederhautbindegewebes die Basalmembran des dermalen-epidermalen Übergangs mit der periostalen Oberfläche des Hufbeins verbunden. Durch dies wird das Hufbein an der inneren Wand der Hufkapsel aufgehängt. Bei der Blättchenlederhaut übernehmen diese Funktion die dermalen Lamellen, die in die epidermalen Lamellen der inneren Hufwand und der Eckstreben greifen (POLLITT, 2009a).

Im Zusammenhang mit der Pathophysiologie der Hufrehe ist zu erwähnen, dass die Lederhaut nur sehr wenige Kollateralgefäße aufweist. Dadurch ist die Gefahr einer Ischämie der Lederhaut bei Durchblutungsstörungen jeglicher Art sehr groß (FÜRST, 2001).

2.2. Blutversorgung

Die arterielle Blutversorgung der Zehe bzw. des Zehenendorgans des Pferdes geschieht über die aus der A. mediana entspringende A. digitalis palmaris communis II. Diese wiederum teilt sich in die A. digitalis palmaris medialis und A. digitalis palmaris lateralis, welche wiederum jeweils einen R. dorsalis phalangis proximalis und medialis und mehrere Rr. dorsales phalangis distalis entlassen. Das ursprüngliche Gefäß selbst läuft sowohl medial als auch lateral unter dem Namen A. digitalis palmaris propria weiter, tritt durch For. soleare in das Hufbein ein und vereinigt sich dort mit der kontralateralen Arterie zum Arcus terminalis (WAIBL et al., 2005). Aus diesem entspringen mehrere Gefäße, die dorsal durch das Hufbein ziehen und durch die im mittleren Drittel des Hufbeins gelegene Wandlöcher heraustreten. Sie bilden zusammen mit den Rr. dorsales phalangis distalis, welche aus dem Arcus terminalis entspringen und aus den Sohlenrandlöchern austreten, die Sohlenrandarterie. Diese wiederum entlässt distal einige kleine Gefäße, die miteinander Anastomosen bilden (WAIBL et al., 2005). An der Inc. processus palmaris (Asteinschnitt) bzw. dem For. processus palmaris entlässt die A. digitalis palmaris lateralis wie bereits erwähnt den R. palmaris phalangis distalis, welcher sich wiederum in einen medialen und lateralen Ast aufspaltet. Der mediale Ast, auch Strahlarterie genannt, zieht Richtung Strahlspitze. Der laterale Ast tritt durch den Asteinschnitt bzw. das Astloch und teilt sich umgehend in einen palmaren und dorsalen Zweig (WAIBL et al., 2005). Der palmare Zweig verläuft nun Richtung Trachten, wobei die dabei zum Sohlenrand ziehenden kleinen Gefäße Bögen bilden und so die dort fehlende Sohlenrandarterie ersetzen. Der dorsale Zweig läuft im Sulcus parietalis (Wandrinne) als Wandarterie weiter und tritt dann an der Grenze von Seiten- und Dorsalwand durch das Hufbein, wo er sich mit dem Arcus terminalis verbindet. Bereits kurz nach dem Durchtritt durch den Asteinschnitt bzw. das Astloch gibt er einen Ast Richtung Sohlenrand ab, der einen Großteil zur Bildung der Sohlenrandarterie beiträgt (WAIBL et al., 2005). Aus den Sohlenrandgefäßen gehen nach FLOYD (2009a) kranzförmige Gefäße am distalen Ende des Hufbeins hervor.

An der Hintergliedmaße verhält es sich entsprechend, die A. digitalis plantaris communis II teilt sich in die A. digitalis medialis und die A. digitalis lateralis, welche jeweils einen R. dorsalis phalangis proximalis, medialis und distalis

entlassen. Auch an der Hintergliedmaße verläuft die ursprüngliche Arterie als A. digitalis plantaris propria weiter (WAIBL et al., 2005; HERTSCH, 1983).

Die Aufzweigung des venösen Blutgefäßsystems entspricht der arteriellen. Die V. dorsalis phalangis mediae bildet jedoch im Vergleich zur entsprechenden Arterie ein besonders stark verzweigtes Geflecht aus, den Koronarplexus (HABERMEHL, 2005). Eine weitere Besonderheit des venösen Teils ist laut KÖNIG et al. (2003) im Innern des Hufbeins festzustellen. Demnach wird jede Arterie dort von zwei sog. Satellitenvenen begleitet. Das bedeutet, auch die Äste des arteriellen Arcus terminalis werden von jeweils zwei Venen begleitet. Da die Hufkapsel nach außen eine feste Begrenzung darstellt und so ein Ausweichen der Blutgefäße verhindert wird, sorgt der arterielle Puls bei den anliegenden zwei Venen zusammen mit den Venenklappen für eine unterstützende Funktion beim Rücktransport des Blutes zum Herzen.

Weiterhin sei an dieser Stelle die spezielle Funktionsweise der Hufpumpe erläutert, welche bisher als Hauptmaßnahme für den venösen Rücktransport galt. Darunter versteht man den Mechanismus des Hufapparates, durch wechselnde Be- und Entlastung den venösen Teil der Blutversorgung zu unterstützen und so den Rücktransport des venösen Blutes zum Herzen zu erleichtern. Dies ist an den distalen Gliedmaßenabschnitten des Pferdes essentiell, da große Muskelgruppen fehlen, die sonst, zum Beispiel im proximalen Gliedmaßenbereich, den Rücktransport des venösen Blutes zum Herzen fördern (FÜRST, 2001).

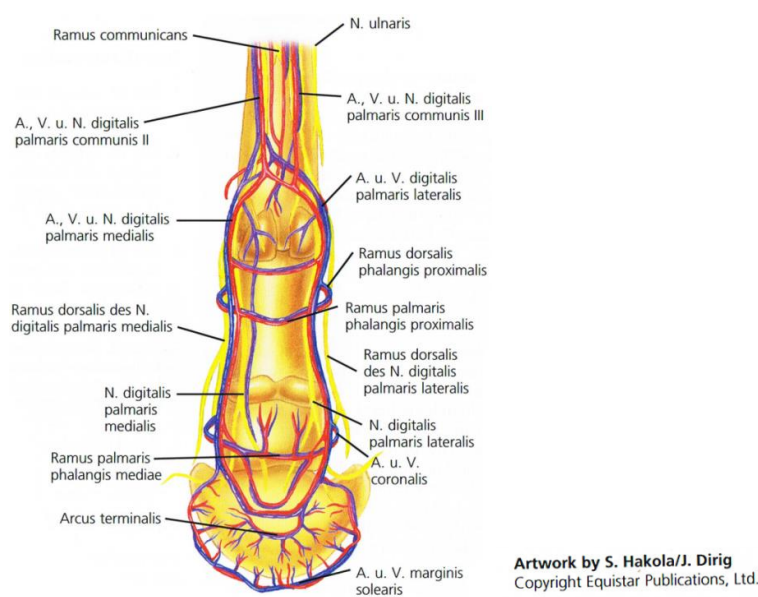


Abbildung 2: Anatomie der Nerven und Blutgefäße an der Zehe des Pferdes, Palmaransicht (aus RIEGEL und HAKOLA, 2010)

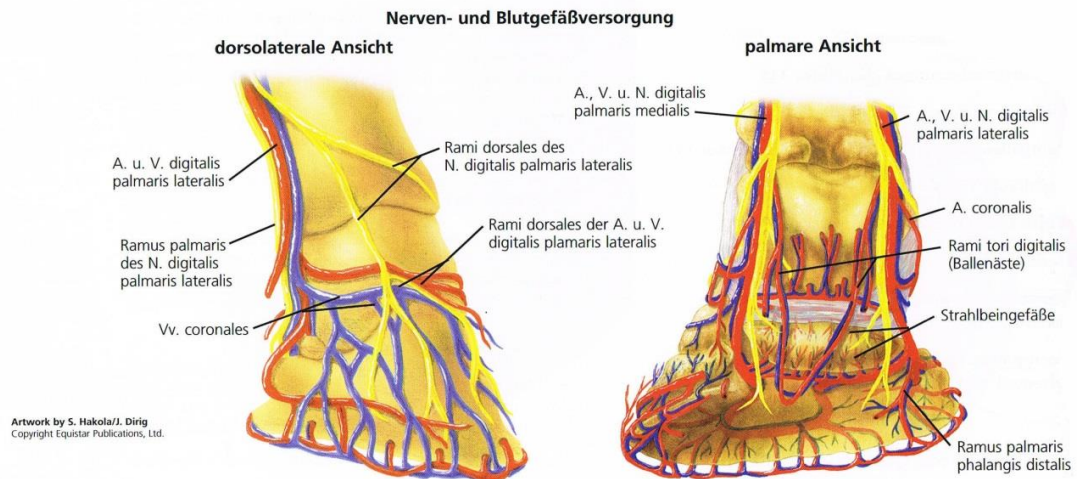


Abbildung 3: Nerven- und Blutgefäßversorgung am Hufbein (aus RIEGEL und HAKOLA, 2010)

Eine wichtige Einrichtung des Blutgefäßsystems sind arteriovenöse Anastomosen. AVAs sind präkapillare Einrichtungen des Blutgefäßsystems, die dessen arterielle und venöse Seite verbinden. Die AVAs des Pferdehufes dienen nicht nur als System zur Thermoregulation, sondern treten auch als eine Art Sicherheitsventil auf, welches den stark erhöhten hydrostatischen Druck im Pferdehuf bei besonderen Belastungen verteilt. Dazu gehören zum Beispiel das Galoppieren oder Springen des Pferdes. Da das Blutgefäßsystem im Huf aufgrund der anatomischen Gegebenheiten (nicht dehnungsfähige Hornkapsel) räumlich eingeschränkt ist, ist diese Eigenschaft der AVAs im Huf sehr wichtig für eine adäquate Blutversorgung und spielt eine wichtige Rolle bei der Pathogenese der Hufrehe (MOLYNEUX, et al., 1994).

3. Ätiologie und Pathogenese

Auch heute ist die genaue Pathogenese der Hufrehe nicht bis ins Detail erforscht. Nach POLLITT (2009b) scheinen enzymatische Prozesse eine zentrale Rolle zu spielen. Die beiden Enzyme Metalloproteinase-2 (MMP-2) und Metalloproteinase-9 (MMP-9) haben die Fähigkeit, den sonst so starken Verbindungsapparat zwischen Huf und Hufbein zu schwächen bzw. zu zerstören. Allerdings handelt es sich um Enzyme, die auch während des physiologischen Umbau- und Erneuerungsprozesses des Hufes und der Lamellen auftreten (POLLITT, 2009b). Erst bei einer durch andere Faktoren hervorgerufene Entgleisung dieses Gleichgewichts zwischen den abbauenden MMP-2 und MMP-9 und den spezifischen MMP-Inhibitoren kommt es zu pathologischen (Auf-)Lösungen der Lamellen-Hufbein-Verbindung und so zum klinischen Bild der Hufrehe. Welche Triggerfaktoren und unter welchen Bedingungen sie zur Entstehung der Hufrehe beitragen, muss noch weiter erforscht werden. Nach POLLITT (2009b) spielen pathologische vaskuläre Ursachen eher keine Rolle.

Andere Untersuchungen jedoch legen ihr Hauptaugenmerk auf die Entwicklung der Hufrehe aufgrund eines pathologischen vaskulären Zustands (ALLEN et al., 1990; FÜRST, 2001; KNOTTENEBLT und PASCOE, 2000). Dabei kommt es zuerst zu einer Ischämie und daraus folgend zu einer Nekrose. Die Ischämie wird demnach initial durch eine Vasokonstriktion, vor allem der postkapillaren Venen, hervorgerufen. Dadurch wird der kapilläre Druck erhöht, was zur Exsudation und Ödemen führen kann. Da die Hornkapsel anatomisch bedingt dem anschwellenden Gewebe nicht nachgeben kann, kommt es im weiteren Verlauf zu einer Vasokompression, vor allem der kleineren Blutgefäße (FÜRST, 2001). Als Folge wird die Blutflussgeschwindigkeit herabgesetzt und so die Gefahr der Thromboseneigung stark erhöht. Somit kann es verstärkt zur Bildung von Mikrothromben kommen. Auch das Auftreten von Entzündungen im Hufbereich führt zu oben genanntem Ablauf und stellt so einen möglichen Triggerfaktor für die Entstehung von Hufrehe dar (ALLEN et al., 1990).

Als ein weiterer vaskulärer Grund wird die Degeneration von Gefäßendothelzellen (Vasolazeration) genannt. Diese kann unter anderem durch eine Überlastung des Gewebes ausgelöst werden und führt dann ebenfalls zu einer Ischämie. Sekundär kommt es dann wiederum zu einer Exsudation und Thrombenbildung (FÜRST, 2001; BELKNAP und PARKS, 2011).

Auch laut FÜRST (2001) spielen die MMP dann als Folge der Entzündungsphase die entscheidende Rolle bei der Schädigung und Lyse der Basalmembran. POLLITT (2009b) erwähnt, dass die Zytokine, die bei einer Entzündung aktiviert werden, möglicherweise zur übermäßigen Aktivierung der MMP beitragen. Weiterhin gibt es Hinweise, dass spezifische Bakterien der Gattungen *Lactobazillus* und *Streptococcus*, vor allem *Streptococcus bovis*, die Aktivierung von MMP fördern. *Streptococcus bovis* kommt physiologischerweise im Dickdarm des Pferdes vor. Bei übermäßiger Vermehrung, zum Beispiel durch exzessive Kohlehydratfütterung, und einhergehender Schädigung der Schleimhautbarriere des Dickdarms treten diese Bakterien in den Blutkreislauf über und können so die Aktivierung der MMP beeinflussen.

In verschiedenen Untersuchungen zum Thema Blutversorgung im Zusammenhang mit Hufrehe zeigte sich ein zuerst widersprüchlich erscheinendes Phänomen: Einerseits lagen eindeutige Hinweise auf eine Ischämie mit Nekrose als deren Folge in der Huflederhaut vor (COFFMAN, et al., 1970), andererseits zeigten angiographische Untersuchungen eine sogar eher erhöhte Durchblutung der Hufgegend während einer Hufrehe-Erkrankung (ROBINSON, et al., 1976). Weiterführende Versuche wiesen jedoch eine mögliche Erklärung dafür auf. Durch vasoaktive Stoffe, welche durch Primärerkrankungen in höherer Konzentration ausgeschieden werden, z.B. im Rahmen einer Endometritis, führen zu einer Erweiterung der AVAs, wodurch es dort zu einer gesteigerten Durchblutung kommt. Gleichzeitig werden dadurch jedoch die angrenzenden Kapillarbetten umgangen und so ungenügend durchblutet (MOLYNEUX, et al., 1994; TROUT, et al., 1990; HOOD, et al., 1978; ROBINSON, 1990).

An dieser Stelle sollen die häufigsten bekannten begünstigenden Faktoren für die Entstehung einer Hufrehe genannt werden, welche am Ende vor allem über die gesteigerte Aktivierung der MMP zu den genannten pathophysiologischen Vorgängen führen:

- metabolisch/hormonell: Morbus Cushing, Equines Metabolisches Syndrom
- mechanisch: Überlastungsrehe, Marschrehe
- systemische (bakterielle) Endotoxine: durch Übertritt aus Dickdarm (zum Beispiel durch Überfütterung mit Kohlehydraten), aus Urogenitaltrakt (bei

Endometritis), aus dem Atmungsapparat (bei Pneumonie)

- vaskulär/hämodynamisch: Vasokonstriktion durch vasoaktive Stoffe aus dem Extrakt der Schwarzen Walnuss, Selenvergiftung, Glukokortikoide (iatrogen)
- nutritiv: übermäßige Aufnahme von frischem und damit fructanhaltigem Gras oder Leguminosen, übermäßige Aufnahme von kaltem Wasser (besonders bei überhitzten Pferden)
- iatrogen: durch exzessive Glukokortikoid-Gaben

(POLLITT, 2009b; FÜRST, 2001; BELKNAP und PARKS, 2011; TAYLOR und HILLYER, 2004; RIEGEL und HAKOLA, 2010; GERHARDS, 2011).

Es scheint sich bei der Hufrehe also um eine multifaktorielle Erkrankung zu handeln, die bei ungünstigem Zusammentreffen mehrerer Faktoren entsteht. Die strikte Unterteilung der einzelnen Triggerfaktoren ist somit eher theoretisch zu sehen.

4. Einteilung und Verlauf

Entwicklungsphase/Podromalstadium/Frühstadium:

Die Entwicklungsphase beginnt mit dem ersten Einwirken der Hufrehe - auslösenden Faktoren und endet mit dem Auftreten der ersten klinischen (Lahmheits-)Symptome, welches dann zugleich den Anfang des akuten Stadiums kennzeichnet (RIEGEL und HAKOLA, 2010). Die Dauer dieser Phase ist unterschiedlich und hängt von den auslösenden bzw. begünstigenden Faktoren ab. Bei der toxischen Hufrehe beträgt sie ca. 1 bis 3 Tage, bei der Vergiftung durch Späne der Schwarzen Walnuss jedoch nur 8 bis 12 Stunden. Bei der Belastungsrehe erstreckt sie sich deutlich länger, in etwa 8 Tage (FÜRST, 2001). Es sind im Frühstadium der Hufrehe keine typischen Symptome erkennbar, jedoch finden bereits pathologische Vorgänge im Hufbereich statt. Aufgrund der Minderdurchblutung durch Vasokonstriktion, Vasokompression oder Vasolazeration kommt es zu einer Ischämie der Huflederhaut. Es liegt in dieser Zeit schon eine Primärerkrankung vor, die begünstigend für die Entwicklung einer Hufrehe wirkt (POLLITT, 2004). Dies kann zum Beispiel eine Erkrankung des Atemwegssystems, des Urogenitaltrakts oder des endokrinen Systems sein. Bei manchen Pferden oder Ponys wurden Fälle beschrieben, nachdem sich die Tiere direkt in der akuten Phase der Hufrehe befanden. Dabei konnte kein vorhergegangenes Podromalstadium festgestellt werden. Diese Tiere waren adipös und litten an dementsprechenden endokrinologischen Folgeerkrankungen. Andere primäre krankheitsauslösende Faktoren lagen jedoch nicht vor (POLLITT, 2004; FÜRST, 2001; BELKNAP und PARKS, 2011).

Akute Phase:

Die akute Phase beginnt mit den ersten Lahmheitssymptomen. Sie kann von unterschiedlicher Länge sein, je nachdem ob bzw. wann es zu einer Rotation des Hufbeins kommt (dies zeigt den Beginn des chronischen Stadiums an). Als klinische Symptome fallen neben der Lahmheit eine Schmerzhaftigkeit des Hufes und eine vermehrt warme Hufwand auf (RIEGEL und HAKOLA, 2010).

Andere Autoren (POLLITT, 2004; KNOTTENBELT und PASCOE, 2000) ordnen die Rotation des Hufbeins noch der akuten Phase zu. Es kommt dabei zur Beeinträchtigung der Blutversorgung des Hufbeins und so seiner progressiven Nekrotisierung. Durch die Zerreißung des Venenplexus bilden sich

Blutansammlungen im Kronbereich. Die folgende Zusammenhangstrennung von Hufwand und Lederhaut bei erhaltenem Zug der tiefen Beugesehne treibt die Rotation des Hufbeins voran. Da das Pferd aufgrund der Schmerzhaftigkeit beim Gehen das Gewicht möglichst auf den hinteren Teil des Hufes verlagert, wird dieser Zug noch verstärkt. Dieser Teufelskreis kann zum Durchbrechen des Hufbeins durch die Sohle führen. In krassen Fällen kann es in der akuten Phase zum Ausschuhlen, das bedeutet zur kompletten Ablösung des Hufbeins kommen (KNOTTENBELT und PASCOE, 2000).

FÜRST (2001) nennt als weitere Formen noch die subakute und die perakute Hufrehe. Bei der perakuten Form sind die gleichen Symptome wie bei einer akuten Rehe zu erwarten, allerdings treten sie deutlich schneller und stärker in Erscheinung. Die subakute Rehe zeichnet sich durch ein schnelleres Abklingen der Symptome aus. Die Prognose fällt dabei günstiger aus, je schneller die Symptome verschwinden.

Chronische Phase:

Die chronische Phase beginnt laut RIEGEL und HAKOLA (2010) mit der Rotation des Hufbeins oder wenn die Lahmheit mehr als 48 Stunden besteht. Sie kann sich über Tage bis Monate, oder sogar bis zum Lebensende erstrecken.

Andere Autoren (POLLITT, 2004; KNOTTENBELT und PASCOE, 2000; BELKNAP und PARKS, 2011) beschreiben die chronische Phase als länger andauernder Problematik der Hufbeinrotation oder –absenkung. Es kommt zur Ausbildung eines Rehehufs, charakterisiert durch parallel verlaufende Hornringe, die palmar/plantar divergieren. Die weiße Linie ist verbreitert und die Hufsohle flacht ab. Weiterhin bildet die dorsale Hufwand eine konkave Formung (Knollhuf). In der chronischen Phase, kann es immer wieder zu akuten Schüben kommen und so die Krankheit verschlimmern. Sie erhöhen das Risiko einer erneuten Erkrankung (KNOTTENBELT und PASCOE, 2000).

BELKNAP und PARKS (2011) unterteilen die chronische Form noch einmal in die aktive und stabile chronische Phase. Während der aktiven Form finden pathologische Prozesse weiterhin statt – die Krankheit schreitet also weiter fort und verschlimmert sich. Während der stabilen chronischen Phase stagniert hingegen das Fortschreiten des Krankheitsprozesses.

5. Vorkommen

Hufrehe kommt grundsätzlich bei allen Pferderassen, Altersklassen und unabhängig vom Geschlecht vor. Einige Autoren sehen jedoch eine Häufung bei Ponys und Kleinpferden, was unter anderem mit dem etwas unterschiedlichen Metabolismus bei diesen Rassen zusammenhängen soll. Dieser bedingt wiederum das verstärkte Vorkommen von Hufrehe-begünstigenden Faktoren wie dem Equinem Metabolischem Syndrom oder Cushing's Disease (BELKNAP und PARKS, 2011; TAYLOR und HILLYER, 2004; KNOTTENBELT und PASCOE, 2000; RIEGEL und HAKOLA, 2010; FÜRST, 2001; COFFMAN und COLLES, 1983; KATZ, et al., 2001). LINFORD, et al. (1993) geben weiterhin zu bedenken, dass die subklinische Hufrehe ebenfalls eine wichtige Rolle spielt, gerade auch bei Englischen Vollblütern. KÖRBER (1997) sieht weiterhin eine Prädisposition für Kaltblutrassen, wobei hier sicherlich die Art der Nutzung die entscheidendere Rolle als die Rasse an sich spielen dürfte, nämlich das durchschnittlich erhöhte Arbeitspensum dieser Rassen auf hartem Boden (auch „Marschrehe“ genannt).

Die Erkrankung tritt gewöhnlich (verstärkt) an den Vordergliedmaßen auf, jedoch ist auch eine Erkrankung aller vier Gliedmaßen möglich. Bei der unilateralen Überlastungsrehe kommt es bei der zum ursprünglich verletzten Bein kontralateralen Gliedmaße zur Hufrehe (BELKNAP und PARKS, 2011; TAYLOR und HILLYER, 2004; KNOTTENBELT und PASCOE, 2000; RIEGEL und HAKOLA, 2010; FÜRST, 2001; KÖRBER, 1997; SCHNEIDER, 1999).

6. Diagnose

Zur Diagnosestellung können verschiedene Methoden herangezogen werden, eine ausführliche klinische Untersuchung reicht zusammen mit einer röntgenologischen Untersuchung in den meisten Fällen für eine zuverlässige Diagnosestellung aus. Für manche (untypische) Patienten oder zur genaueren Prognosestellung empfehlen sich weitergehende Untersuchungen zur spezifischeren Abklärung (FÜRST, 2001; BELKNAP und PARKS, 2011).

6.1. Klinische Untersuchung

6.1.1. Symptomatik

Die Symptome der Hufrehe sind je nach Stadium unterschiedlich. Laut KÖRBER (1997), BELKNAP und PARKS (2011), SCHNEIDER (1999) und RIEGEL und HAKOLA (2010) zeigen sich je nach Phase folgende Symptome:

Akute Phase:

In der akuten Phase sind die Pferde im Allgemeinbefinden gestört und im Bereich der betroffenen Hufabschnitte schmerzhaft. In der klinischen Untersuchung lassen sich folgende Befunde feststellen:

- Erhöhung der Atemfrequenz
- Erhöhung der Körpertemperatur
- Erhöhung der Pulsfrequenz
- Schweißausbruch
- Muskelzittern
- Injizierte Schleimhautgefäße als Zeichen für Schmerz/erhöhten Blutdruck
- Trachtenfußung/Hintergliedmaßen werden weit unter Körper gestellt
- Abwechselndes Entlasten der Vordergliedmaßen/“Trippeln“
- Bewegungsunlust und vermehrtes Liegen
- Wendeschmerz
- Verstärkte Pulsation der Mittelfußarterie
- Zangenpalpation und Hammerperkussion v.a. an Hufspitze schmerzhaft
- Vermehrte Wärme der Krone und der Zehenwand

Chronische Phase:

Je nach Schweregrad der Hufrehe-Erkrankung zeigen sich die Symptome der chronischen Phase mehr oder weniger deutlich. Auch können während der chronischen Hufrehe wiederkehrende neue Schübe auftreten, wodurch es zusätzlich zu akuten Symptomen kommt. Im Zentrum der chronischen Phase stehen die Veränderungen am Huf, also die Entstehung des sog. Rehe-Hufs oder Knollhufs. Konkret lassen sich folgende Symptome in der chronischen Phase benennen:

- Einsinken oder Verdickung des Kronsaums
- Verbreiterung oder Auflockerung der Weißen Linie
- Sohlenprolaps, in hochgradigen Fällen bricht die Hufbeinspitze durch die Sohle
- Bildung von Reheringen durch Umbauvorgänge
- Verändertes Gangbild mit typischer Trachtenfußung im Schritt und ruckartigem Hochschleudern der Zehe nach dem Abrollen
- Dekubitus-Stellen durch vermehrtes Liegen
- Konkav verformte Dorsalwand des Hufes
- Sohle dorsal des Strahls kann weich und abgeflacht, ja sogar konvex geformt sein
- Blutergüsse in der Sohle, v.a. dorsal der Strahlspitze

(KÖRBER, 1997; BELKNAP und PARKS, 2011; SCHNEIDER, 1999, RIEGEL und HAKOLA, 2010).

Einen weiteren Teil der klinischen Untersuchung beim Verdacht des Vorliegens einer Hufrehe-Erkrankung stellt die Lahmheits-Untersuchung bzw. die Einteilung in die verschiedenen Lahmheitsgrade dar. Die Festlegung des Lahmheitsgrades ist ein entscheidender Faktor bei der Feststellung des Grades der Hufrehe-Erkrankung und ist deshalb ein wichtiger Teil der Diagnose- und somit auch Prognosestellung (FLOYD, 2009a).

6.1.2. Einteilung der Lahmheitsgrade

OBEL (1948) teilte Lahmheiten aufgrund der klinischen Symptomatik in vier Grade.

Grad 1:

Das Pferd hebt in Ruhe ständig abwechselnd die Hufe, was als „trippeln“ bezeichnet wird. Im Schritt ist keine Lahmheit zu erkennen, im Trab ist der Gang kurz und steif.

Grad 2:

Die Pferde gehen zwar willig vorwärts im Schritt, jedoch steif. Ein Bein kann noch ohne Probleme aufgehoben werden.

Grad 3:

Das Pferd bewegt sich nur noch unter Zwang, also widerwillig. Es wehrt sich gegen den Versuch, ein Bein aufzuheben.

Grad 4:

Das Pferd weigert sich, sich zu bewegen. Die Vorwärts-Bewegung ist nur noch durch Zwang möglich.

CRIPPS und EUSTACE (1999) haben das Modell von OBEL (1948) modifiziert und dabei die Klinik stärker in den Vordergrund gestellt. Die Einteilung erfolgte im Gegensatz zu OBEL (1948) nicht in vier, sondern sechs Grade. Die unten aufgelistete Übersicht wurde im Rahmen dieser Arbeit aus dem englischen Original übersetzt.

Grad 0:

Keine Lahmheit im Schritt oder Trab auf hartem Untergrund auf gerader Strecke.

Grad 1:

Keine erkennbare Lahmheit im Schritt, das Tier bewegt sich freiwillig, zeigt eine Lahmheit im Trab auf hartem Untergrund auf gerader Strecke und wendet vorsichtig.

Grad 2:

Das Tier bewegt sich nicht gelöst sondern mit steifem Gang. Das Tier zeigt eventuell eine deutlich erkennbare Lahmheit im Schritt auf einem Bein. Das Tier widersetzt sich, auf hartem Untergrund zu traben und zeigt einen deutlichen Wendeschmerz.

Grad 3:

Das Tier bewegt sich im Schritt auf jedem Untergrund widerwillig. Es ist sehr schwierig, ein Bein aufzuheben. Das Tier belastet eventuell ein Bein kaum/nicht.

Grad 4:

Das Tier bewegt sich nur unter Zwang und widersetzt sich teilweise, sich von weichem auf harten Untergrund zu bewegen. Es ist unmöglich, ein Bein aufzuheben.

Grad 5:

Das Tier verbringt die meiste Zeit liegend und kann nicht länger als einige Minuten stehen.

6.2. Röntgenologische Untersuchung

Die röntgenologische Untersuchung ist beim Verdacht einer Hufreheerkrankung sehr wichtig. Sie spielt nicht nur eine entscheidende Rolle bei der Diagnosestellung, sondern auch beim Beurteilen des weiteren Krankheitsverlaufes und der Prognose. Deshalb sollten die entsprechenden Röntgenaufnahmen bereits beim ersten Auftreten klinischer Symptome durchgeführt werden (BELKNAP und PARKS, 2011; FLOYD, 2009a). Die beiden Routineaufnahmen zur Abklärung einer Hufrehe sind die lateromediale bzw. mediolaterale und die dorsopalmare Projektion.

6.2.1. Lateromediale bzw. mediolaterale Aufnahme

Vorbereitung des Hufs:

Um das bestmögliche Ergebnis zu erhalten, sollte vor der Aufnahme des Röntgenbildes der Huf möglichst ausgeschnitten, zumindest aber gereinigt und getrocknet werden (LITTLE und SCHRAMME, 2009).

Technik:

Die für die Beurteilung des Vorliegens einer Hufrehe übliche Röntgenaufnahme ist die lateromediale oder auch mediolaterale Projektion. Dazu sollte die zu untersuchende Gliedmaße auf einem ca. 5 cm hohen Klotz so platziert werden,

dass sich der mediale Tragrand an der Kante des Klotzes befindet. Da die Aufnahme unter Lastaufnahme der zu untersuchenden Gliedmaße erfolgen soll, ist es unter Umständen nötig, die andere Schultergliedmaße aufzuheben (SCHEBITZ und WILKENS, 2009). Um ein möglichst aussagekräftiges Röntgenbild zu erhalten, sollte die zu untersuchende Gliedmaße senkrecht zum Boden stehen und eine Rotation des Hufes auf dem Klotz vermieden werden. Die Interpretation der Beziehung zwischen den Skelettstrukturen und der Hufkapsel kann erleichtert werden, indem der Huf mit röntgendichten Markern an Hufwand und Hufsohle markiert wird (LITLLE und SCHRAMME, 2009; TAYLOR und HILLYER, 2004). Dies kann zum Beispiel mit einer dünnen Metallplatte unter der Sohle, falls das Pferd unbeschlagen ist und einem aufgeklebten Draht an der Hufwand erfolgen (Beginn des Drahtes am Kronsaum, am Übergang von weichem zu hartem Horn). Die genaue Lage des Strahls im Verhältnis zur Hufbeinbasis kann anhand einer gekürzten Reißzwecke, die ca. 1-2 cm hinter der Spitze des Strahls platziert wird, ermittelt werden. Der Röntgenstrahl wird parallel zur Oberfläche des Klotzes und im rechten Winkel zur Längsachse der Gliedmaße ausgerichtet. Der Fokus soll auf Höhe des vermuteten Margo solearis des Hufbeins gerichtet werden, also ca. 1-2 cm proximal des Tragrands des Hufs (LITLLE und SCHRAMME, 2009; TAYLOR und HILLYER, 2004).



Abbildung 4: Beispielbild zur Vorbereitung und Positionierung des Hufes/der Hufe zur Anfertigung einer lateromedialen Röntgenaufnahme im Rahmen einer Hufrehe-Diagnose



Abbildung 5: Beispielbild zur Vorbereitung des Hufes mittels einer gekürzten Reißzwecke zur Anfertigung einer lateromedialen Röntgenaufnahme im Rahmen einer Hufrehe-Diagnose

Messungen laut REDDEN (2009) und FLOYD(2009a):

Palmarwinkel:

Unter dem Palmarwinkel versteht man den Winkel zwischen dem Margo solearis des Hufbeins relativ zur Bodenfläche. Dabei kann er entweder zur tragenden Fläche der Hufkapsel oder zum Boden selbst gemessen werden. Wird der Winkel relativ zum Boden gemessen, bezieht man damit auch die mechanische Wirkung von Hilfsmitteln, in erster Linie Hufeisen, mit ein. Üblicherweise haben Pferde mit gesunden Hufen und starken Trachten einen positiven Palmarwinkel. Das bedeutet, die Hufbeinäste liegen höher als die Hufbeinspitze. Wie groß der Winkel genau ist, hängt unter anderem von der Rasse oder auch von der Verwendung spezieller Hufeisen ab. Bei Pferden mit Hufrehe ist der Palmarwinkel – auf den Normalbereich dieser Rasse bezogen – deutlich erhöht.

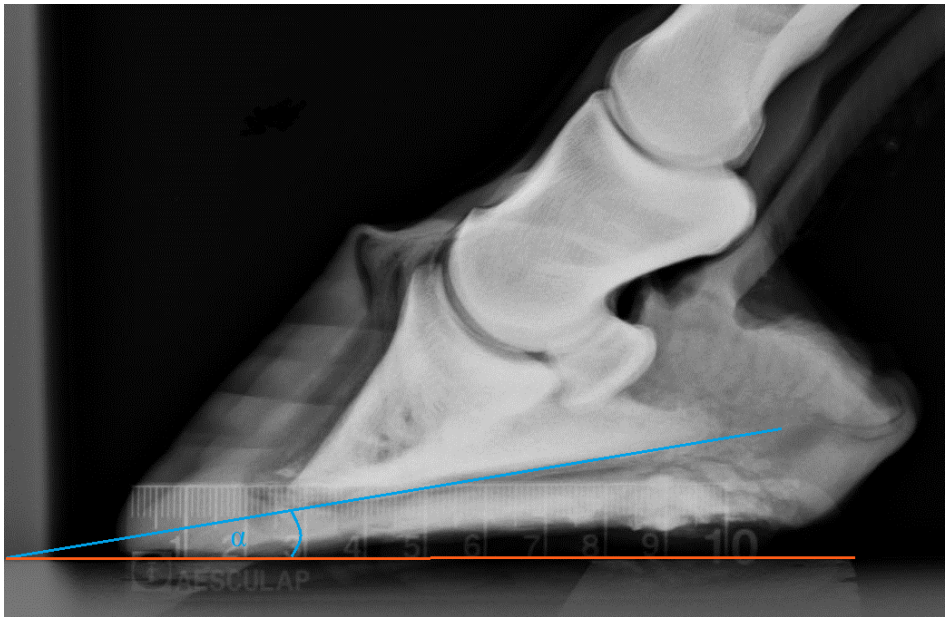


Abbildung 6: Beispiel einer 90°-Röntgen-Aufnahme eines Zehenpräparates zur Veranschaulichung der Messung des Palmarwinkels α

Der Palmarwinkel, in Abb. 6 als α bezeichnet, kann mittels geeigneter Software eingezeichnet und berechnet werden. In Abb. 4 beträgt er ca. 10°. Für ggf. weiteren benötigten Berechnungen wurde in diesem Fall eine Skala mit Millimeter-Einteilung aufgebracht, welche auf dem Röntgenbild sichtbar ist.

Breite der H-L-Zone:

Unter der Breite der dorsalen Zone zwischen Horn und Lamellen versteht man den Abstand zwischen der dorsalen Hufbeinoberfläche und der äußeren Oberfläche der dorsalen Hufwand. Sie wird linear senkrecht zur dorsalen Hufbeinfläche gemessen. Grundsätzlich kann dies an allen Stellen der dorsalen Hufbeinfläche erfolgen. Üblicherweise werden jedoch zwei Stellen dafür herangezogen: direkt unterhalb des Proc. extensorius und nahe der distalen Hufbeinspitze. Dabei erfolgt die Angabe der Messung als proximal/distal, das bedeutet die Angabe des Abstands unterhalb des Proc. extensorius/Abstand an der distalen Hufbeinspitze. Bei gesunden adulten Hufen sollten beide Abstände gleich sein. Bei immaturren Hufen kann der proximale Wert größer sein. Im Fall von Hufrehe wird der Abstand dorsal größer, auch eine Zunahme des Abstands von proximal nach distal tritt auf. Im Gegensatz zur White Line Disease verbreitert sich bei der Hufrehe nicht die Hornzone, sondern die Lamellenzone. Dies ist

jedoch nur bei sehr guten Weichteilaufnahmen zu erkennen.

Abstand zwischen Proc. extensorius und Kronsaum:

Darunter versteht man den vertikalen Abstand zwischen dem proximalsten Bereich der äußeren Hufwand und der Spitze des Proc. extensorius. Um eine Tendenz im Krankheitsverlauf feststellen zu können, ist es wichtig, den Abstand bereits am Anfang des Krankheitsprozesses abzumessen. Nur so lässt sich eine Tendenz erkennen. Der physiologische Normalwert liegt bei den meisten Pferden bei 0 bis 15 mm.

Sohlendicke¹:

Unter der Sohlendicke versteht man – bezogen auf die röntgenologische Untersuchung – den vertikalen Abstand zwischen der äußeren Sohlenoberfläche und dem Margo solearis des Hufbeins. Üblicherweise wird sie an der Hufbeinspitze gemessen und beträgt beim gesunden Huf mindestens 15 mm.

Weichteilgewebe:

Das Weichteilgewebe ist für die Erhaltung der Funktion des Hufes entscheidend, da es das Hufbein nicht nur stützt, sondern auch schützt. Deshalb ist es nicht erstaunlich, dass bei einer Überbeanspruchung oder Schädigung des Weichteilgewebes eine Dysfunktion des ganzen Hufbereiches eintritt. Aus diesem Grund sollte auch bei der Hufrehe-Untersuchung die Beurteilung der gegebenenfalls auftretenden Weichteil-Veränderungen, zum Beispiel Kongestion, Ödem oder Akkumulation mit in die Diagnosestellung mit einbezogen werden.

¹ Im Original-Text ist von „Sohlentiefe“ die Rede, da im deutschsprachigen Raum aber der Begriff „Sohlendicke“ geläufiger ist, wurde dieser in der vorliegenden Arbeit verwendet. In Tab. 2 wurde jedoch der Original-Begriff „Sohlentiefe“ belassen.

Sohlenwölbung:

Bei einem gesunden Huf sollte physiologischerweise eine konkave Wölbung der Sohle unter der Huflederhaut vorliegen.

An dieser Stelle sei eine Zusammenfassung der physiologischen Befunde für die meisten leichten Pferderassen (unter anderem Englisch Vollblut) gegeben:

- Positiver PW von 3 – 5°
- Breite der H-L-Zone von 15/19 mm
- Abstand zwischen Proc. extensorius und Kronsaum von ca. 14 mm
- Verhältnis der Sohlendicke an Hufbeinspitze zur Sohlendicke am Hufbeinast von ca. 20 zu 23 (gemessen in mm)
- Keine erkennbaren Weichteilgewebe-Veränderungen
- Sohlenwölbung (Sohle konkav) unter der Huflederhaut

(FLOYD, 2009a).

6.2.2. Dorsopalmare Aufnahme

Neben der für die Diagnose der Hufrehe wichtigeren lateromediale bzw. mediolaterale empfiehlt sich auch eine dorsopalmare Aufnahme, auch 0° - Aufnahme genannt. Daraus kann man unter anderem die Beziehung von Hufbein zur Hufkapsel oder zum Boden und damit des lateralen-medialen Gleichgewichts ersehen. Denn bei Hufrehe kann es zur einseitigen Verlagerung des Hufbeins, also zum Abkippen des Hufbeins nach einer Seite hin, kommen. Weiterhin lassen sich anhand der Aufnahme die Sohlendicke, die Dicke der seitlichen Hufwand und eventuelle zusätzliche Erkrankungen, zum Beispiel Schäden an der weißen Linie, erkennen.

Der Röntgenstrahl sollte idealerweise ca. ein bis zwei cm oberhalb des Tragands fokussiert werden. Außerdem sollte er parallel zur sagittalen Ebene des Hufs stehen und horizontal ausgerichtet sein. Die Röntgenkassette sollte möglichst nahe an den Trachten und im rechten Winkel zum Röntgenstrahl platziert werden (REDDEN, 2009; O'GRADY und PARKS, 2008).

6.3. Weitere Untersuchungsmethoden

6.3.1. Angiographie

Mittlerweile wird die Bedeutung der venographischen gegenüber der arteriographischen Untersuchungen in der Tiermedizin immer wichtiger (HERTSCH, 1973). Standardmäßig wird heute die Venographie gegenüber der Arteriographie bevorzugt, vor allem deshalb, weil für die Arteriographie eine Allgemeinanästhesie nötig ist (HERTSCH, 1983). Aus diesem Grund wird im Folgenden nur auf die Venographie genauer eingegangen.

Seit den 1990er Jahren wurden die Methoden der Venographie am stehenden Pferd stetig weiterentwickelt. Auch wenn sie für die meisten Tierärzte nicht zur Standard-Untersuchung im Rahmen der Hufrehe-Erkrankung eines Pferdes zählt, gewinnt sie doch auch in diesem Bereich immer mehr an Bedeutung, vor allem in Bezug auf die Prognosestellung (RUCKER, 2009). Im Folgenden soll die Vorgehensweise nach RUCKER (2009) zusammengefasst sein. Einzelheiten sind ihren Empfehlungen oder einschlägiger weiterführender Fachliteratur zu entnehmen. Um möglichst aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten, ist es wichtig, gleiche Grundlagen zu schaffen. Das bedeutet, eine standardisierte Aufnahmetechnik mit hochqualitativen Aufnahmen. Die Pferde sollten dafür an einen ruhigen, sicheren Ort mit ebenem Boden gebracht werden. Das Pferd wird sediert und ein Stauschlauch auf Höhe des Fesselgelenks angesetzt. Anschließend wird das Kontrastmittel in die V. digitalis lateralis per Katheter gespritzt (RUCKER, 2009). Danach sollten innerhalb der nächsten 30 Sekunden alle Röntgenaufnahmen angefertigt werden. Die Standardaufnahmen sind die lateromediale und dorsopalmare bzw. –plantare Projektion. Sie geben Aufschluss über die Durchblutung der Hufregion und zeigen evtl. vorhandene pathologische Veränderungen auf. Im Falle der Hufrehe sind diese Durchblutungsstörungen zum Großteil bedingt durch entzündliche Prozesse und die Verlagerung des Hufbeins.

Auch die Arbeit von CZECH (2006) liefert detaillierte Erkenntnisse zum Thema digitale Phlebographie des an Hufrehe erkrankten Pferdes. Sowohl die konkrete Durchführung wird darin beschrieben, als auch die Ergebnisse der Venographie gesunder Pferde und an Hufrehe erkrankter Pferde erläutert und bewertet.

Die einzelnen Befunde der verschiedenen Untersuchungsmöglichkeiten im Zusammenhang mit dem Grad der Hufrehe werden unter Punkt 6.4

Klassifizierungssystem aus dem System von FLOYD (2009a) genauer beleuchtet.

6.3.2. Thermographie

Die Infrarotthermographie ist eine weitere Möglichkeit zur Diagnosestellung der Hufrehe. Gerade im Anfangsstadium kann neben der Pulsation der Zehenarterie ein Infrarotthermogramm ein wichtiges Mittel zur Feststellung einer Hufrehe-Erkrankung sein, da offensichtliche Symptome im frühen Stadium oft fehlen. Anfangs führt die arteriovenöse Shuntbildung zur Umgehung des Kapillarbett, wodurch es dort zu einer herabgesetzten Durchblutung kommt (RIEGEL und HAKOLA, 2010). Im Thermogramm ist dies dadurch zu erkennen, dass sich die gesamte Hufplatte als Bereich mit wenig Wärmeabstrahlung zeigt. Gleichzeitig liegt am Hufsaum ein Bild gesteigerter Durchblutung vor. Durch die sich verschlimmernde entzündliche Reaktion verändert sich das Wärmemuster sehr deutlich, der Wärmegradient entlang der gesamten Hufplatte ist stark erhöht. Zu dieser Zeit kann man bei der Palpation bereits ebenfalls eine Erwärmung des Hufes per Hand spüren (RIEGEL und HAKOLA, 2010).

6.3.3. Szintigraphie

Die Szintigraphie ist eine Möglichkeit, Knochen, die sich im aktiven Umbau befinden, bildlich darzustellen. Vereinfacht gesagt, werden in Stellen am Knochen, die einem gesteigerten Umbauvorgang unterliegen, vorher i.v. verabreichte radioaktive Stoffe – meist wird Technetium-99 verwendet – verstärkt eingelagert. Ebenfalls kann man diesen Prozess an Weichteilgewebe beobachten, welches einem Mineralisierungs-Prozess unterliegt. Mittels Spezialkamera werden diese verstärkten Einlagerungen sichtbar gemacht und zeigen so Regionen mit erhöhtem Knochenumbau auf. Chronische Krankheitsleiden werden mit der Szintigraphie nicht bzw. kaum erfasst (ROSS und STACY, 2003; RIEGEL und HAKOLA, 2010). Zur Auswertung sollten immer Bilder der kontralateralen Gliedmaße herangezogen werden. Die Voraussetzung dafür ist, dass gleiche Regionen der beiden Gliedmaßen nach der gleichen Zeit nach Verabreichung des Kontrastmittels aufgenommen werden. Weiterhin sollte beachtet werden, dass einige Erkrankungen, wie auch die Hufrehe, häufig an mehreren Gliedmaßen vorkommen, wodurch der Vergleich der erkrankten Gliedmaße zu einer gesunden Gliedmaße desselben Pferdes fehlt (ROSS und STACY, 2003). Grundsätzlich ist die Szintigraphie nicht so sehr zur eindeutigen Diagnosestellung geeignet. Sie

hilft jedoch dabei, Regionen mit akuten Umbauvorgängen im Knochen- und Knorpelbereich aufzuzeigen und so den Bereich der Krankheitsursache auf einen kleineren Bereich zu beschränken. Sie werden auf den Aufnahmen als sog. Hot-Spots sichtbar und, je nach Software, meist farblich intensiver dargestellt

Dadurch sind beschränkt auf diesen Teil des Körpers dann weitere, genauere Untersuchungen, zum Beispiel mittels Röntgen, Venographie, MRT oder CT möglich, welche zusammen mit dem Ergebnis der Szintigraphie und der klinischen Untersuchung zur Diagnosestellung beitragen (ROSS und STACY, 2003).

6.3.4. Computertomographie und Magnetresonanztomographie

Der Vorteil von CT und MRT gegenüber der Röntgen-Untersuchung ist die größere Genauigkeit bei der Feststellung von Krankheitsursachen im Hufbereich. Die Nachteile waren jedoch bisher der große Aufwand für die Durchführbarkeit, einschließlich Vollnarkose für das Pferd (KEEGAN und DYSON, 2003). Durch technische Weiterentwicklungen sind aber mittlerweile heutzutage auch Untersuchungen per CT und MRT möglich, bei denen das Pferd lediglich sediert und die Untersuchung so im Stehen durchgeführt werden kann. Somit können diese Untersuchungsmöglichkeiten durchaus als mögliche weiterführende Diagnosemöglichkeit in Betracht gezogen werden (COELHO und KINNS, 2012; GERLACH und BERNER, 2013).

Das CT fertigt Scheibenschnitt-Aufnahmen der betroffenen Gliedmaße an, welche mittels geeigneter Software zu einem dreidimensionalen Bild zusammengesetzt werden können. Es können dabei auch maßstabsgetreue Messungen von Strukturen auf dem Bild vorgenommen werden. Das CT ist sowohl für die Darstellung von Weichteilgewebe, noch mehr jedoch von Knochen-/Knorpelstrukturen geeignet. Das MRT ist Mittel der Wahl, wenn der Schwerpunkt auf Strukturen des Weichteilgewebes gelegt werden soll (GARCÍA-LOPEZ, 2003).

Auch beim MRT werden Scheibenschnitt-Aufnahmen des Körpers angefertigt, welche dann per Software zusammengesetzt werden können. Im Gegensatz zum CT, wo dies durch Röntgenstrahlen entsteht, geschieht dies beim MRT durch die Mitwirkung eines statischen Magnetfeldes. Zur Erzeugung des Schnitt-Bildes werden innerhalb des Magnetfeldes die Kerne von Wasserstoff-Atomen im

aufzuzeichnenden Körperteil durch eine spezifische Resonanz-Frequenz angeregt und anschließend die aus den Kernen frei werdende Energie aufgezeichnet, sobald sich diese wieder entspannen (WHITTON et al., 2003). Für Pferde war die Durchführung einer MRT aufgrund des Aufbaus der Maschine lange Zeit unmöglich und ist auch heute noch kompliziert. Das erzeugte Magnetfeldes wird in einer ist eine relativ langen, röhrenartigen Messkammer, der Gantry wirksam, in die Pferde zu platzieren anatomisch bedingt eine Herausforderung darstellt (GERHARDS, 2014). Durch moderne Modifikationen der MRT-Geräte ist es heute jedoch möglich, Gliedmaßen einschließlich bis zum Karpus und Tarsus und den Kopf und Hals eines Pferdes per MRT darzustellen. Allerdings ist dafür bei vielen Geräten immer noch sehr viel Zeit und eine Narkose nötig (WHITTON et al., 2003). Weiterhin sollte vorher die Region, welche für das (Lahmheits-) Problem verantwortlich gemacht wird, möglichst durch die Ergebnisse von vorangegangenen Röntgen-Untersuchungen und klinischer Untersuchungen einschließlich diagnostischer örtlicher Betäubungen lokalisiert werden. Zum Vergleich sollten bei Aufnahmen im Gliedmaßenbereich immer beide Beine dargestellt werden. Besonders wichtig ist die MRT im Hufbereich, da aufgrund der Hufkapsel die Ultraschall-Untersuchung der Strukturen weitgehend unmöglich ist. Mittels MRT lassen sich auch die Weichteilstrukturen innerhalb der Hufkapsel als dreidimensionales Bild darstellen (WHITTON et al., 2003).

6.4. Klassifizierungssystem

FLOYD (2009a) fasst die oben erwähnten einzelnen Untersuchungsmethoden klinische Untersuchung, Röntgen-Untersuchung und Venogramm zusammen und entwickelt daraus ein Einteilungssystem in vier Grade. Da sowohl Szintigraphie, als auch CT und MRT aufgrund des gerätetechnischen, finanziellen und zeittechnischen Aufwands (noch) nicht zu den Standard-Untersuchungen im Rahmen der Hufrehe gehören, wurden sie nicht in das folgende Bewertungssystem mit einbezogen.

Wichtig zur Beurteilung der Grade der Hufrehe ist die Grundlage der Normalbefunde der jeweiligen Untersuchungsmethode. Auf die konkrete Ermittlung dieser Befunde wurde bereits eingegangen. An dieser Stelle sollen nur noch einmal die Normalwerte eines adulten Pferdes (bezogen auf eine leichte

Pferderasse, wie zum Beispiel das Englische Vollblut) verdeutlicht werden (FLOYD, 2009a):

- Positiver PW von $3 - 5^\circ$
- Breite der H-L-Zone von 15 - 19 mm
- Abstand zwischen Proc. extensorius und Kronsaum von ca. 14 mm
- Sohlendicke an Hufbeinspitze ca. 20 mm und Sohlendicke am Hufbeinast ca. 23 mm (kurz ausgedrückt als 20/23)
- Keine erkennbaren Weichteilgewebe-Veränderungen
- Sohlenwölbung (Sohle konkav) unter der Huflederhaut

Die folgende Einteilung wurde von FLOYD (2009a) getroffen:

Grad I

Klinische Befunde:

Die Schmerzen im Huf sind eher geringgradig, oft nur wahrnehmbar bei Wendungen. Die betroffenen Pferde laufen freiwillig. Es fallen äußerlich keine pathologischen Hufveränderungen auf, die für eine akute Hufrehe sprechen würden. Jedoch kann sich später ein Rehering entwickeln. Dieser umfasst die komplette Hufwand und wächst vom Kronsaum aus herunter.

Röntgenbefunde (Übersichtsröntgen):

Der positive Palmarwinkel beträgt zwischen 5 und 9° und die Breite der H-L-Zone in etwa 16 zu 20 mm. Der Abstand des Proc. extensorius zum Kronrand befindet sich im Normalbereich, also bei ca. 14 mm. Die Sohlendicke an der Hufbeinspitze und die Sohlendicke am Hufbeinast sollten beide nicht mehr als wenige Millimeter vom Normalwert abweichen. Als einzige Veränderung des Weichteilgewebes fällt eine schmale aufgehellte Linie dorsal der dorsalen Hufoberfläche auf.

Röntgenbefunde (Venogramm):

Das Venogramm kann bei Grad I unauffällig sein, jedoch kommt es bei Pferden mit chronischer Rehe unter Umständen zum „slipping“ (geringfügige

pantoffelähnliche Verkrümmung) der Gefäße oder zum „wisping“ (Blutungen an der erweiterten H-L-Zone) an der dorsal-distalen Spitze des Hufbeins. Da sich der distale Hufbeinrand weiterhin innerhalb der kranzförmigen Gefäße befindet und nicht wie bei schwereren Rehegraden darunter abgesunken ist, bleibt die kranzförmige Zirkulation in oder zumindest nahezu in physiologischer Form erhalten.

Prognose:

Durch eine gewissenhafte Hufkorrektur ist üblicherweise bereits nach wenigen Wochen oder Monaten eine Rückkehr des Pferdes zu früherem Leistungsniveau zu erwarten

Grad II

Klinische Befunde:

Das Pferd geht zwar vorwärts, jedoch langsam und ist unwillig, enge Wendungen zu gehen. Anfangs sind noch keine äußerlichen pathologischen Veränderungen am Huf ersichtlich. Im Laufe der Zeit wird wiederum ein Rehering, vom Kronsaum aus distal wachsend, sichtbar. Dieser ist deutlicher und breiter als bei Pferden mit Rehe mit Grad I. Nach wiederholter Hufkorrektur wird ein Sohlenhämatom (hervorgerufen durch Quetschung der Sohlenlederhaut) distal des Strahls zu erkennen.

Röntgenbefunde (Übersichtsröntgen):

Der positive Palmarwinkel liegt zwischen 10 und 14° und die Breite der H-L-Zone in etwa 20 zu 25 mm. Der Abstand des Proc. extensorius zum Kronrand ist in manchen Fällen etwas vergrößert (um ca. 1-2 mm), da sich die dorsale Fläche des Processus distal neigt. Die Sohlendicke an der Hufbeinspitze zeigt sich geringgradig schmaler, bei ca. 10 bis 12 mm und die Sohlendicke am Hufbeinast breiter. Die aufgehellte Linie dorsal der dorsalen Hufoberfläche ist größer als bei Grad I und eventuell kann auch eine geringgradige Aufhellung unter der Hufbeinspitze vorliegen.

Röntgenbefunde (Venogramm):

Durch den sich nach distal neigenden Proc. extensorius wird Druck auf den

Koronarplexus ausgeübt. Auch die dorsale Zirkulation kann herabgesetzt sein. Außerdem kann es an der dorsalen distalen Spitze des Hufbeins zur Bildung von Hämatomen, Seromen oder Kavernen durch Blutansammlungen kommen. Auch bei Grad II bleibt der Hufbeinrand innerhalb der kranzförmigen Zirkulation. In chronischen Fällen kann es zu einer Bündelung der kranzförmigen Gefäße kommen.

Prognose:

Bei gewissenhafter und regelmäßiger Hufkorrektur ist eine Herstellung der früheren sportlichen Leistungsmöglichkeit erreichbar.

Grad III

Klinische Befunde:

Das Pferd ist deutlich schmerzhaft. Es geht nur widerwillig vorwärts, Wendungen werden verweigert. Die meiste Zeit verbringen die Pferde liegend. Auch hier sind anfangs äußerlich keine pathologischen Abweichungen am Huf erkennbar.

Röntgenbefunde (Übersichtsröntgen):

Der positive Palmarwinkel liegt bei mindestens 15° und die Breite der H-L-Zone in etwa 25/30 mm. Der Abstand des Proc. extensorius zum Kronrand ist deutlicher als bei Grad II vergrößert. Die Sohlendicke an der Hufbeinspitze zeigt sich deutlich vermindert, die Sohlendicke am Hufbeinast stark vergrößert. Es wird ein auffälligerer strahlendurchlässiger Bereich an der dorsalen Hufbeinoberfläche und der Lederhaut ersichtlich, da dort eine deutliche Zusammenhangstrennung des Gewebes vorhanden ist.

Röntgenbefunde (Venogramm):

Der Druck durch den Proc. extensorius auf den Koronarplexus wird größer, wodurch sich eine deutliche Blutstauung direkt proximal des Processus extensorius zeigt. Außerdem kommt es zu einer Konstriktion der kranzförmigen Blutgefäße. Die dorsale Zirkulation ist herabgesetzt. Der Hufbeinrand ist nun zum Teil oder komplett unterhalb der kranzförmigen Zirkulation.

Prognose:

Selbst Pferde mit Hufrehe des Grad III können innerhalb von zwei Jahren noch zu ihrem früheren sportlichen Leistungsniveau zurückkehren. Dies hängt jedoch von vielen Faktoren ab, unter anderem vom Alter des Pferdes aber auch wie chronisch der Erkrankungsprozess bereits ist. Häufig entwickeln Pferde mit Grad III aber im weiteren Verlauf einen Grad IV. Dies kann nur durch massive und umgehende Behandlung verhindert werden.

Grad IV

Klinische Befunde:

Pferde mit Rehe des Grades IV zeigen sich hochgradig schmerzhaft. Die meiste Zeit liegen sie, zu gehen ist nahezu unmöglich und selbst das Stehen ist für sie problematisch. Das Gewicht wird im Stehen und Gehen in den überwiegenden Fällen auf die Hinterhand verlagert, da Hufrehe meist zumindest schwerwiegender an den Vordergliedmaßen auftritt. Ein maßgeblicher Unterschied, unter anderem auch vor allem für die Prognose, besteht zwischen Pferden mit positivem Palmarwinkel, also mit cranialer Hufbeinrotation und Pferden mit distaler Verlagerung des Hufbeins, also mit Hufbeinsenkung. Die craniale Hufbeinrotation tritt oft zusammen mit der Ruptur des Kronsaums (meist dorsal oder medial) und des Durchbruchs des distalen Hufbeinrands und dessen Lederhaut durch die Sohle in Erscheinung. Dadurch liegt die Lederhaut an dieser Stelle frei. In manchen Fällen tritt auch eine caudale Hufbeinrotation auf. Die Pferde haben dann während der gravierendsten Phase der Hufrehe eine normale bzw. sogar geringgradig umgekehrte Breite der H-L-Zone, also 19/19 bzw. 19/18. Bei Pferden mit Hufbeinsenkung können evtl. äußerliche pathologische Abweichungen in Erscheinung treten. Kronbein und Hufbein werden dabei innerhalb der Hufkapsel nach hinten-unten gedrückt und üben so Druck auf die Durchblutung in der Ballenregion aus. Als Folge kann Hufknorpel-Masse der lateralen Hufknorpel proximal und medial des Kronsaums austreten und eine Ruptur an den Ballen und dem Strahl auftreten. Die Hufsohle flacht ab und wird brüchig, zeigt sich geschwächt und teilweise unabhängig von der Zehe beweglich. Die Schwellung des Kronsaums, als Zeichen des Verlusts der Zirkulation des Blutes in der Huflederhaut, lässt den Schluss auf ein sehr fortgeschrittenes Stadium zu.

Röntgenbefunde (Übersichtsröntgen):

Die craniale Rotation zeigt einen deutlichen positiven Palmarwinkel von über 15°, bis zu 20-30°. Die Hufbeinsenkung ist entweder 0° oder negativ. Liegt eine craniale Rotation vor beträgt die Breite der H-L-Zone ca. 25/30 mm, bei einer Hufbeinsenkung sind die proximalen und distalen Messungen gleich und betragen mindestens 30/30 mm. Der Abstand des Proc. extensorius zum Kronrand ist bei einer cranialen Rotation vergrößert. Auch bei einer Hufbeinsenkung ist dieser Abstand größer, jedoch sollte die Interpretation unter Einbeziehung der Breite der H-L-Zone ($\geq 30/30$) und einer verminderten Verhältnis von der Sohlendicke an der Hufbeinspitze zur Sohlendicke am Hufbeinast erfolgen. Bei der cranialen Rotation gelten bezüglich des Verhältnis der Sohlendicke an Hufbeinspitze zu –ast dieselben Befunde wie bei Grad III. Jedoch kann die Sohlendicke an der Hufbeinspitze unter 0 sein, nämlich dann, wenn das Hufbein durch die Sohle durchgebrochen ist. Bei der Hufbeinsenkung zeigt sich die Sohlendicke sowohl an Hufbeinspitze, wie auch an –ast, gleichermaßen stark vermindert. Weiterhin sind bei der cranialen Rotation deutliche Aufhellungen entlang der dorsalen Hufoberfläche zu sehen, welche distal breiter werden. Die Sohle kann bei durchbrechen des Hufbeins offen sein und das Hufbein so freiliegen. Charakteristisch für die Hufbeinsenkung ist, dass die Sohlendicke sowohl an der Spitze, als auch am Ast des Hufbeins mehr oder weniger gleichmäßig stark vermindert ist. Dies begründet sich in dem Gleiten des Hufbeins nach hinten-unten. Die Schädigung des Weichteilgewebes kann, trotz der deutlichen Lageveränderung des Hufbeins, erstaunlich gering sein. Oft fällt nur eine sehr prominente Aufhellung im Bereich der dorsalen Hufoberfläche (also eine verbreiterte H-L-Zone) auf, welche von proximal nach distal gleich breit sein kann. Die Hufbeinsenkung kann auch Folge einer cranialen Rotation sein.

Röntgenbefunde (Venogramm):

Folge der cranialen Rotation sind eine starke Kongestion des Koronarplexus und die teilweise oder total unterbrochene Durchblutung in den dorsalen Lamellen und den kranzförmigen Gefäßen an der dorsal-distalen Hufbeinspitze. Der distale Hufbeinrand befindet sich unterhalb der kranzförmigen Gefäße. Der Druck durch den Proc. extensorius auf den Koronarplexus wird durch die Hufbeinsenkung massiv, wodurch es zu einer deutlichen Kompression des Plexus kommt. Auch die kranzförmige Zirkulation wird herabgesetzt oder komplett unterbrochen. Ebenso

verhält es sich mit der Durchblutung im Arcus terminalis und im Ballen des Hufes. In besonders hochgradigen Fällen ist kein Kontrastmittel mehr unterhalb des Kronsaums zu finden.

Prognose:

Die Prognose bei cranialer Rotation hängt entscheidend von der umgehenden Einleitung einer adäquaten Behandlung und der individuellen Heilungsfähigkeit des betroffenen Pferdes ab. Es ist möglich, Pferde anschließend zumindest noch lahmheitsfrei auf der Weide zu halten. Eine Rückkehr zum gleichen sportlichen Niveau ist eher selten, wenn auch nicht gänzlich unmöglich. Dennoch werden viele Pferde mit Grad IV und Auftreten der deutlichen äußerlichen pathologischen Veränderungen euthanasiert. Beim Vorliegen einer Hufbeinsenkung ist eine Vertiefung des Kronsaums ein prognostisch eher ungünstiges Zeichen, außer, sie geht um den ganzen Huf herum.

Es gibt heute verschiedene Ansätze zur Behandlung von Pferden mit ausgeprägter Hufbeinsenkung. Diese befinden sich jedoch noch in der Testphase. Bisher ist es nicht gelungen, die Pferde auf ihr früheres sportliches Niveau zurückzubringen. Einige konnten jedoch wieder zur Zucht eingesetzt werden. Diese Pferde behalten oft pathologische Läsionen, etwa wie eine Osteomyelitis und Erosion des Hufbeins und eine höhere Wahrscheinlichkeit für Hufabszesse und Hufbeinrand-Frakturen (BELKNAP und PARKS, 2011). Weiterhin behalten viele der Pferde Lahmheiten zurück und zeigen höhere Rezidivraten bezüglich der Hufrehe (FLOYD, 2009a). Im Folgenden werden die einzelnen Kriterien als Tabellen zusammengefasst.

Tabelle 1: Klassifizierung von Pferden mit Hufrehe: Klinische Kriterien (aus FLOYD, 2009a)

Klinische Befunde	Grad I	Grad II	Grad III	Grad IV
Hufschmerzen	Geringgradig	Mittelgradig	Hochgradig	Extrem
Gang	Geht willig; Unbehagen kann nur bei engen Wendungen erkennbar sein.	Geht langsam; widerwillig/zögernd bei engen Wendungen.	Geht zögernd vorwärts; verweigert Wendungen.	Steht und geht nur mit großen Schwierigkeiten.
Pathologische Veränderungen am äußeren Huf	Initial keine; Rehering kann erscheinen, wenn die Hufwand nach unten wächst.	Initial keine; Rehering kann erscheinen, wenn die Hufwand nach unten wächst; Sohlenquetschung kann nach mehrmaligem Ausschneiden beobachtet werden.	Initial keine.	Kraniale Rotation: oft Ruptur des Kronsaums und Penetration des Hufbeins durch die Sohle; Hufbeinsenkung: initial evtl. keine, oder Ruptur an Hufballen und Strahl, flache und brüchige Sohle, bewegliche Hufkapsel, mit/ohne Hämorrhagien am Kronsaum.

Tabelle 2: Klassifizierung von Pferden mit Hufrehe: röntgenologische Kriterien (aus FLOYD, 2009a); zur Begriffsklärung gilt Fußnote 1 auf Seite 22 der vorliegenden Arbeit

Röntgenologische Befunde	Grad I	Grad II	Grad III	Grad IV
Positiver Palmarwinkel	5-9°	10-14°	≥ 15°	Kraniale Rotation: > 15°, oft 20-30°; Hufbeinsenkung: kann 0° sein oder negativ.
Breite der H-L-Zone	Ca. 16/20 mm	Ca. 20/25 mm	Ca. 25/30 mm	Kraniale Rotation: ca. 25/30 mm; Hufbeinsenkung: Proximale und distale Messungen sind gleich und betragen ≥ 30/30 mm.
Abstand Processus extensorius - Kronsaum	Im Normalbereich	Kann leicht vergrößert sein (z.B. 15-16 mm), da die dorsale Oberfläche des Processus extensorius nach distal kippt (Hinweis: dies deutet nicht auf eine Senkung hin).	Vergrößert	Kraniale Rotation: vergrößert; Hufbeinsenkung: vergrößert, muss aber zusammen mit der Breite der H-L-Zone (≥ 30/30 mm) und verminderter Sohlentiefe Hufbeinspitze/-ast interpretiert werden.
Sohlentiefe Hufbeinspitze/Hufbeinast	Beide mit höchstens ein paar mm Abweichung von normaler Sohlentiefe.	Sohlentiefe an Hufbeinspitze vermindert (kann 10-12 mm sein); Sohlentiefe am Hufbeinast vergrößert.	Sohlentiefe an Hufbeinspitze stark vermindert; Sohlentiefe am Hufbeinast stark vergrößert.	Kraniale Rotation: wie bei Grad III; Sohlentiefe an Hufbeinspitze kann ≤ 0 sein, wenn das Hufbein durch die Sohle gedrunken ist. Hufbeinsenkung: beide Werte gleichermaßen stark vermindert.
Veränderungen des Weichgewebes	Beschränken sich auf eine feine aufgehellte Linie dorsal der Hufbeinoberfläche.	Es kann eine breitere aufgehellte Linie als bei Grad I vorhanden sein; strahlendurchlässiger Bereich kann auch distal vorhanden sein, unter der Hufbeinspitze.	Desorganisation der dorsalen Laminae und der Sohlenlederhaut mit verstärkter Aufhellung in beiden Bereichen.	Kraniale Rotation: deutliche Aufhellung entlang der dorsalen Hufbeinoberfläche (distal breiter); Hufbeinsenkung: trotz deutlicher Verlagerung des Hufbeins können die Weichgewebsveränderungen minimal oder begrenzt sein.

Tabelle 3: Klassifizierung von Pferden mit Hufrehe: venographische Kriterien – Vorliegen und Schweregrad von Füllungsdefiziten in der Zirkulation des Hufs (aus FLOYD, 2009a)

Gefäßregion	Grad I	Grad II	Grad III	Grad IV
Koronarplexus	Keine signifikanten Veränderungen	Konstriktion durch den abgekippten Processus extensorius	Deutliche Kongestion unmittelbar proximal des Processus extensorius des Hufbeins	Kraniale Rotation: deutliche Kongestion; Hufbeinsenkung: deutliche Kompression.
Dorsale Lamellen und kranzförmige Gefäße	Akut: keine signifikanten Veränderungen; Chronisch: geringgradig "slipping" Akut-chronisch: "wisping"	Akut: dorsale Zirkulation kann vermindert sein; Kavernenbildung bei den kranzförmigen Gefäßen an der Hufbeinspitze möglich	Dorsale Zirkulation vermindert, Fimbrien und Papillen sind verkürzt oder fehlen; Konstriktion der kranzförmigen Gefäße an der Hufbeinspitze.	Kraniale Rotation: verminderte oder fehlende Zirkulation in dorsalen Lamellen und kranzförmigen Gefäßen an der Hufbeinspitze; Hufbeinsenkung: Füllung in beiden Bereichen deutlich vermindert oder fehlend.
Arcus terminalis	Keine signifikanten Veränderungen	Keine signifikanten Veränderungen	Keine signifikanten Veränderungen	Hufbeinsenkung: kann deutlich vermindert sein (in hochgradigen Fällen sogar fehlen).
Hufballen	Keine signifikanten Veränderungen	Keine signifikanten Veränderungen	Keine signifikanten Veränderungen	Hufbeinsenkung: entweder Kongestion oder fehlende Zirkulation.
Position des Hufbeins relativ zu den kranzförmigen Gefäßen	Normal	Normal	Distaler Rand des Hufbeins teilweise oder ganz unterhalb der Gefäße.	Distaler Rand des Hufbeins unterhalb des Gefäßes.

7. Differenzialdiagnosen

Im weiteren Sinne kommen sämtliche Lahmheitsursachen der Hufregion als Differentialdiagnose(n) in Frage.

An dieser Stelle werden einige Möglichkeiten aufgelistet:

- Podotrochlose-Syndrom
- Hufabszess/Nageltrittverletzung
- Arthrose (Schale)/Arthritis
- Fäulnisprozesse im Bereich der Weißen Linie
- Ostitis des Hufbeins
- Akute und/oder purulente Pododermatiden
- Lange-Zehe-kurze-Trachten-Syndrom

(RIEGEL und HAKOLA, 2010; BUTLER, et al., 2000).

GARNER (1975) erwähnt im Anfangsstadium der Hufrehe eine Gefahr der Verwechslung mit einer Kolik oder dem Kreuzverschlag. BELKNAP und PARKS (2011) sehen vor allem bei chronischen, milden Fällen, besonders bei älteren Pferden im Zusammenhang mit eventuell gleichzeitig vorhandenen beidseitigen Arthropathien im distalen Bereich der Gliedmaßen Probleme bei der eindeutigen Diagnosestellung.

Im Allgemeinen sind die Symptome der Hufrehe jedoch charakteristisch, weshalb eine eindeutige Diagnosestellung nach ausführlicher Anamnese und Untersuchung im überwiegenden Teil der Fälle möglich sein sollte.

8. Therapie

Da es eine Vielzahl von Ursachen für die Hufrehe gibt, kann es auch nicht nur eine Art der richtigen Behandlung geben. Vielmehr sollte im Zweifelsfall nicht an einem einzigen Standardverfahren festgehalten werden, sondern falls sich der gewünschte Erfolg nicht einstellt, die zuerst eingeschlagene Therapie überdacht und ggf. korrigiert werden. Jedenfalls ist die Hufrehe als Notfallsituation zu behandeln, die ein sofortiges Eingreifen erforderlich macht (FÜRST, 2001). Dabei soll verhindert werden, dass eine akute Hufrehe chronisch wird. Die zwei Hauptbestandteile der Behandlung sollten einmal die Beseitigung und dann die Bekämpfung der Ursache beinhalten (BELKNAP und PARKS, 2011; RIEGEL und HAKOLA, 2010; O'GRADY und PARKS, 2008). FLOYD (2009b) sieht wiederum den Kern der Therapie in der Wiederherstellung der Durchblutung des betroffenen Gewebes.

Da Prävention stets der Therapie vorzuziehen ist, sollten einige vorkehrende Maßnahmen getroffen werden. Dazu gehört unter anderem ein gutes Fütterungsmanagement, um weder durch Übergewicht, noch durch daraus resultierende metabolische Erkrankungen die Wahrscheinlichkeit einer Hufrehe-Erkrankung zu erhöhen. Weiterhin sollten die Hufe optimal gepflegt, gerichtet und ggf. beschlagen werden um einer Fehlstellung vorzubeugen. Übermäßige Belastung auf hartem Boden sollte vermieden werden (FÜRST, 2001; RIEGEL und HAKOLA, 2010). Falls aufgrund der Vorgeschichte bereits der Verdacht vorliegt, es könnte sich eine Hufrehe-Erkrankung entwickeln, sollten sofort präventive Vorkehrungen ergriffen werden, um die sich evtl. noch in der Entwicklungsphase befindende Krankheit abwehren zu können. Dazu gehören zum Beispiel zusätzlich zu den weiter unten aufgeführten Maßnahmen eine perorale Verabreichung von Öl zur Verhinderung der Absorption von Endotoxinen (RIEGEL und HAKOLA, 2010). Vor allem bei der chronischen Hufrehe sollte laut RIEGEL und HAKOLA (2010) eine antibiotische Therapie im Sinne einer Vorbeugung oder auch zur Bekämpfung einer systemischen oder lokalen Infektion im Hufbereich eingesetzt werden. FÜRST (2001), BELKNAP und PARKS (2011) empfiehlt den Einsatz von Antibiotika nur beim Vorliegen einer Sepsis. Aufgrund der allgegenwärtigen Forderungen nach einem kritischeren Einsatz von Antibiotika in der Tiermedizin aufgrund der steigenden Resistenzproblematik, ist der präventive Einsatz von Antibiotika, wie ihn

RIEGEL und HAKOLA (2010) empfehlen, laut Meinung der Autorin als kritisch einzuschätzen. Deren Verwendung beim Vorliegen von (bakteriellen) Grunderkrankungen ist jedoch selbstverständlich empfehlenswert.

8.1. Medikamentöse Therapieansätze

8.1.1. Entzündungshemmende Medikamente

Auf Steroide sollte wegen deren Hufrehe-fördernden Wirkung verzichtet werden. Die Standardtherapie wird zur Zeit mit NSAIDs durchgeführt. Sie hemmen die COX-Enzymaktivität, welche Teil der Entzündungskaskade sind. Da sie jedoch sowohl Nebenwirkungen bezüglich des Magen-Darm-Trakts, als auch der Nieren haben, ist eine genaue Vorgeschichte und Beobachtung des Patienten diesbezüglich wichtig (LOVE, 2011). Die häufigsten verwendeten COX-Hemmer sind Flunixin-Meglumin, Phenylbutazon und Ketoprofen. Es gibt weiterhin COX-2-selektive Hemmer, wie zum Beispiel Firocoxib, welche Vorteile bezüglich der Magen-Darm-Nebenwirkungen aufweisen. Allerdings sind dort wiederum aus dem Humanbereich vaskuläre Nebenwirkungen bekannt, welche über Thrombosebildung bis zum Tod führen können (LOVE, 2011). Ob sie sich auf lange Sicht bewähren, wird die Zukunft zeigen müssen. Da sie in der Tiermedizin bisher noch unzureichend erforscht sind, empfiehlt sich sicherheitshalber zuerst die Anwendung der nicht- bzw. wenig selektiven COX-Hemmer und nur in der Langzeitanwendung bei einem chronischen Hufrehe-Patienten, wo verstärkt Nebenwirkungen auf Magen, Darm und Nieren zu befürchten sind, Firocoxib (LOVE, 2011).

Flunixin-Meglumin wirkt nebenbei noch als Endotoxin-Fänger, weshalb es besonders in den ersten drei bis fünf Tagen zu empfehlen ist. Welches der genannten NSAIDs langfristig bei dem entsprechenden Patienten eingesetzt wird, hängt von dem Schmerzgrad des Pferdes und den eventuell auftretenden Nebenwirkungen ab (RIEGEL und HAKOLA, 2010; BELKNAP und PARKS, 2011).

Weiterhin kann DMSO (Dimethylsulfoxid) als Entzündungshemmer eingesetzt werden. Es wirkt ebenfalls als Radikalfänger und kann zusätzlich zu den NSAIDs kombiniert werden (FÜRST, 2001; RIEGEL und HAKOLA, 2010; LOVE, 2011;

NICKELS, 2003). Allerdings handelt es sich dabei um ein in Deutschland zur Zeit nicht zugelassenes Arzneimittel.

8.1.2. Antikoagulanzen

Bezüglich der Verwendung von Heparin zur Behandlung von Pferden mit Hufrehe gibt es widersprüchliche Ergebnisse. Heparin wirkt einerseits der Gerinnung des Blutes entgegen, andererseits führt es auch zur Agglutination von Erythrozyten (BELKNAP und PARKS, 2011; FÜRST, 2001). BELKNAP und PARKS (2011) schlagen deshalb die Verwendung von LMHW (low-molecular-weight heparin) vor, welches diesbezüglich bessere Eigenschaften aufweisen soll. FÜRST (2001) rät als Alternative zu Fragmin® (Dalteparinum natricum, 25000 IU/ml), ebenso wie Aspirin® (Acetylsalicylsäure) und Warfarin.

8.1.3. Durchblutungssteigernde Medikamente

Es gibt durchaus widersprüchliche Empfehlungen, ob eine Durchblutungssteigerung während der ersten Phase(n) der Hufrehe angestrebt werden sollte oder nicht. Dies ist in den verschiedenen Ansichten zur Pathogenese der Hufrehe begründet. Die überwiegende Anzahl der Autoren befürworten den Versuch, eine Vasodilatation zu erreichen, da sie davon ausgehen, dass eine Vasokonstriktion einer der Hufrehe-auslösenden Faktoren darstellt (BELKNAP und PARKS, 2011; RIEGEL und HAKOLA, 2010; EPS, 2008). Die Vasodilatation kann durch den Einsatz von Azepromazin erreicht werden. Andere empfehlen den Einsatz dieses Vasodilatators, wenn überhaupt, dann nur in der chronischen Phase der Hufrehe (FÜRST, 2001; POLLITT, 1993), da sie annehmen, dass die Hufrehe oft durch systemische Erkrankungen, zum Beispiel Toxine ausgelöst wird, welche durch die Vasodilatation sogar noch vermehrt in das Kapillarbett des Hufes geschwemmt werden. Aus ihrer Sicht ist deshalb sogar eher eine Vasokonstriktion am Anfang der Erkrankung erstrebenswert.

8.1.4. Analgetische Therapie

Die bereits erwähnten NSAIDs weisen neben ihrer entzündungshemmenden Wirkung auch eine analgetische Wirkung auf (FÜRST, 2001). Diese kann jedoch bei hochgradigen Fällen nicht ausreichen, sodass eine zusätzliche, stärker analgetisch wirkende Therapie erforderlich sein kann. ABRAHAMSEN (2005) empfiehlt eine Dauertropfinfusion mit „Pentafusion“, eine Kombination aus

Ketamin, Morphin, Lidocain, Detomidin und Acepromazin. Da einige dieser Wirkstoffe die Darmmotilität beeinträchtigen können, ist eine gute Überwachung dieser Patienten erforderlich. Außerdem besteht die Gefahr, dass die Pferde durch den Dauertropf zu stark sediert werden bzw. nicht mehr sicher stehen können. Eine gute analgetische Abdeckung ist diesen Autoren zufolge jedoch sowohl für das Pferd, welches sich in einem starken Schmerzzustand befindet, als auch für den Besitzer, der deshalb besorgt ist, sehr wichtig. Es ist jedoch entscheidend, das Pferd nicht etwa durch komplette Schmerzausschaltung zur Bewegung zu animieren, denn besonders in der ersten Phase der Erkrankung ist eine Ruhigstellung zur Verhinderung weiterer Schäden am Hufbeinträger essentiell (BELKNAP und PARKS, 2011).

8.1.5. Therapie zur Regulierung der Matrix-Metallo-Proteinase

Einige Praktiker verwenden Tetracycline, da diesen MMP-hemmende Eigenschaften zugesprochen wurden, jedoch zeigt unter anderem die Studie von EADES (2009) diese Wirkung lediglich in vitro, nicht während eines Versuchs der Behandlung von lebenden Tieren.

Ein weiterer Ansatz zur Hemmung der Produktion der Metallo-Proteinasen ist die Infusion mit Glucose. Laut FÜRST (2001) begünstigt ein Glucosemangel die Entstehung von Hufrehe. Auch eine in vitro Studie von PASS et al. (1998) legt den Verdacht nahe, dass ein durch eine systemische Primärerkrankung entstehender Glucosemangel (auch im Huf) die Aktivierung der MMPs fördert und so ein Hufrehe begünstigender Faktor ist. Demnach sollte bei Vorliegen einer Hypoglykämie eine ausgleichende Glucose-Infusion zur Therapie der Hufrehe bzw. zu ihrer Prävention eingesetzt werden.

Ein Ergebnis einer ähnlichen in vitro Studie zeigt die hemmende Wirkung von Batimastat (BB-94) auf die MMPs im Zusammenhang mit der Entstehung von Hufrehe. Ob dies jedoch auf die Abläufe in vivo übertragen werden kann und deshalb einen Therapie-Ansatz für die Zukunft bietet, werden weitere Untersuchungen zeigen müssen (POLLITT und DAVIES, 1998).

8.2. Orthopädische Therapieansätze

Im akuten Hufrehe-Fall muss je nach Schmerzhaftigkeit des Patienten abgewogen werden, ob der evtl. vorhandene Beschlag abgenommen werden kann, oder nicht. Der Vorteil besteht darin, dass man den Huf genauer untersuchen kann und so evtl. vorhandene Probleme im Hufrandbereich aufgedeckt werden können. Ist jedoch durch die Abnahme des Eisens die Gefahr vorhanden, dass der kontralaterale Huf überlastet und so weiterhin geschädigt wird, sollte im Zweifelsfall darauf verzichtet werden. Bei sehr schlecht gepflegten Hufen ist eine ausreichende Diagnosestellung nur nach vorhergegangener sachgerechter Zubereitung des Hufes möglich (BELKNAP und PARKS, 2011). Anschließend sollte je nach Diagnose ein orthopädischer Beschlag oder eine spezielle Vorrichtung aufgebracht werden, mit dem Ziel, die Unterstützung des Strahls aufrecht zu erhalten, die Zugkräfte auf die Beugesehne zu minimieren und so weiteren Schaden an der Verbindung zwischen Lederhaut- und Epidermisblättchen zu vermeiden. Außerdem sollte im Falle einer Infektion eine ausreichende Drainage geschaffen werden und das evtl. vorhandene nekrotische Gewebe entfernt werden (RIEGEL und HAKOLA, 2010).

Während im akuten Hufrehe-Fall vor allem die medikamentöse Therapie im Vordergrund steht, ist beim Vorliegen einer chronischen Hufrehe-Erkrankung die unterstützende Therapie im Bereich der Hufpflege entscheidend. Bei einem gesunden Pferd orientiert man sich zum korrekten Beschneiden der Hufe an den äußeren anatomischen Strukturen der Hufkapsel, die Auskunft über die Position des darunter liegenden Hufbeins gibt. Die Schwierigkeit für das optimale Zuschneiden des Hufes bei einem Patient mit chronischer Hufrehe liegt vor allem darin, dass die Krankheit nicht nur die Hufkapsel pathologisch verändert hat, sondern auch die darunter liegenden Strukturen, wie das Hufbein und dessen Lage zur Hufkapsel. Aus diesem Grund ist ein optimales Zuschneiden der Hufe nur durch einen Abgleich mit aktuellen Röntgenbildern möglich (O'GRADY und PARKS, 2008).

Im Laufe der Zeit hat sich eine Vielzahl verschiedener Beschläge bewährt und wurde stetig optimiert. Welcher im konkreten Fall am besten passt, sollten Schmied und Tierarzt unter Einbeziehung sämtlicher Untersuchungsergebnisse, vor allem der Röntgenaufnahmen, entscheiden.

Einige Grundsätze sollten jedenfalls beachtet werden. Dazu gehört die Unterstützung bzw. Erhöhung des Drucks auf den Strahl und die Verlagerung des Gewichts vom Hufrand zugunsten von Strahl und Sohle. Die Zehe sollte gekürzt werden, um die Spannung der tiefen Beugesehne und dem Zug am Hufbein zu verringern. Dazu trägt ebenfalls das Hochstellen der Trachten bei und das Zurücklegen des Abrollpunktes um 2,5 – 4 cm hinter die Strahlspitze zum Schutz der dorsalen Lederhaut (RIEGEL und HAKOLA, 2010; O`GRADY und PARKS, 2008).

Neben der Möglichkeit durch Verbände, Unterlagen, etc. diese Ziele zu erreichen, gibt es eine Vielzahl von Methoden, von denen einige hier aufgeführt sind (KÖRBER, 1997; SMITH THOMAS, 2006; O`GRADY und PARKS, 2008).

Indirekter Klebebeschlag

- Sigafoos Series I
- Sigafoos Series II

Therapeutische Hufschuhe

- Ultimate Reden Cuff®
- Equine Digit Support System®
- Dallmer Cloq®
- Ibex Hufschuhe®

Orthopädische Beschläge

- Rehebeschlag nach Stark-Guther
- Rehebeschlag nach Bolz
- Rehebeschlag nach Pflug
- Umgekehrtes konventionelles Eisen
- Umgekehrtes konventionelles Eisen mit Steg
- Herzförmig geschlossenes Eisen
- Ovales geschlossenes Eisen (Eiereisen)
- Redden Rail Shoe®
- Rock´n Roll-Shoe
- Natural-Balance-Eisen
- Full-Rocker-Eisen

- Holzschuh nach Steve O'Grady

Weiterhin gibt es eine Vielzahl von Polstern, Pads und Einlagen, die mit den Beschlägen, Verbänden, etc. kombiniert werden können. Bei einer (zusätzlichen) mediolateralen Rotation des Hufbeins ist es sinnvoll, den Beschlag, also zum Beispiel ein Full-Rocker-Eisen oder auch einen selbst zugeschnittenen Holzschuh nach O'GRADY und PARKS (2008), jeweils zur Hufbeinabsenkung kontralaterale Seite über den Hufrand hinaus zu verbreitern. Dadurch wird die Belastung von der stärker geschädigten Seite des Hufes auf die nicht oder weniger geschädigte Seite übertragen. Genauere Informationen zu den verschiedenen Beschlagstechniken sind der speziellen Fachliteratur zu entnehmen. Wichtig ist, dass der Beschlag im Verlauf der Therapie ständig überprüft und ggf. angepasst wird (NICKELS, 2003; SMITH THOMAS, 2006; KÖRBER 1997; O'GRADY und PARKS, 2008).

8.3. Chirurgische Therapieansätze

Zur Unterstützung der bereits genannten Therapiemöglichkeiten gibt es einige chirurgische Maßnahmen, die vor allem in hochgradigen Hufrehe-Fällen nötig sein können. Dazu gehört die Hufwand-Resektion. Ziel ist es, den Druck auf den Kronsaum zu verringern, nekrotisches Material zu entfernen und das Wachstum neuen Horns, welches wieder optimal mit der Lederhaut verbunden ist, zu fördern (FÜRST, 2001). Sie kann sowohl komplett, als auch teilweise erfolgen. Da die vollkommene Resektion große Risiken einer Infektion birgt, sollte das Pferd unter systemische Antibiose gesetzt und der betroffene Huf unter einem aseptischen Verband gehalten werden. Auch führt die vollständige Resektion zu einer massiven Instabilität der Hufgegend. Deshalb ist es empfehlenswerter, die Hufwand nur teilweise zu entfernen, zum Beispiel an den seitlichen Teilen. Die dorsale Hufwand kann durch Beraspeln zusätzlich etwas ausgedünnt werden (RIEGEL und HAKOLA, 2010; BELKNAP und PARKS, 2011).

Zusätzlich wird häufig eine Rille in die Hufwand unterhalb des Kronsaums gefräst, welche einerseits den Druck vom Kronsaum nehmen soll und andererseits eine gewisse Distanz zwischen der alten und neu gebildeten Hufwand herstellen soll. Dadurch wird verhindert, dass die distale Hufwand die proximale, neue in

ihrem Wachstum negativ beeinflusst (BELKNAP und PARKS, 2011).

In hochgradigen Fällen von (chronischer) Hufrehe sind die bereits genannten Therapien nicht ausreichend. Dann kann als letzte Möglichkeit eine Tenotomie der tiefen Beugesehne indiziert sein (FÜRST, 2001; RIEGEL und HAKOLA, 2010, BELKNAP und PARKS, 2011). Sie kann an zwei Stellen durchgeführt werden, entweder in der mittleren Metakarpalregion oder auf Höhe der Fessel. Im letztgenannten Falle sollten große Gewebeschäden herbeigeführt werden, um Verwachsungen zwischen dem subkutanen Gewebe und dem distalen Sehnenstumpf zu erhalten, welche dem Hufbein als Unterstützung dienen (RIEGEL und HAKOLA, 2010).

Der Eingriff sollte am stehenden, sedierten Pferd durchgeführt werden. Eine Vollnarkose ist nicht nötig, da der Eingriff klein ist, weiterhin wird das unvorhersehbare Risiko möglicher weiterer Verletzungen im Rahmen der Aufstehversuche nach einer Vollnarkose so vermieden. Die tiefe Beugesehne wird vollständig durchtrennt und die Wunde verschlossen. Ziel des Eingriffs ist die Wiederherstellung der Zehenachse (FLOYD, 2009b; BELKNAP und PARKS, 2011; HENDRICKSON, 2007). Der Erfolg der Operation sollte ab einer Woche danach jede zweite Woche per Röntgenbild kontrolliert werden. Die Zehenachse sollte sich zunehmend stabilisieren. Eine begleitende Hufpflege und Zubereitung des Hufes sind erforderlich, um einen Palmarwinkel von 0° zu erhalten. Gegebenenfalls ist dazu ein Spezial-Beschlag nötig. Wenn die Patienten den Großteil des Tages stehend verbringen können, sollten ein Bewegungsprogramm mit langsamem Führen begonnen werden (FLOYD, 2009b; BELKNAP und PARKS, 2011; HENDRICKSON, 2007).

Bei einer ausgeprägten Absenkung des Hufbeins gibt es die Möglichkeit, das Röhrbein mit transkortikalen Pins zu fixieren. Dann wird die Hufwand entfernt, die Gliedmaße eingegipst, um den Huf zu entlasten. Die Operation wird am sedierten, stehenden Pferd, welches in einer Schlinge aufgehängt ist, durchgeführt. Diese Vorgehensweise erfordert ein ausgeprägtes postoperatives Management und äußerst große Besitzer – und Patienten – Compliance (FLOYD, 2009b).

8.4. Optimales Management des Hufrehe-Patienten

Neben den bereits erwähnten Therapie-Möglichkeiten ist ein gutes Rundum-Management des Hufrehe-Patienten wichtig und für den Behandlungserfolg entscheidend. Dazu gehören das Aufstallen in einer Tiefstreu-Box oder auf Sand, Boxenruhe bzw. so wenig Bewegung wie möglich, erst frühestens ab einem Monat und je nach Behandlungserfolg ein langsames Bewegungsprogramm (FÜRST, 2001; RIEGEL und HAKOLA, 2010; BELKNAP und PARKS, 2011). Zur Unterstützung, zum Beispiel beim Bearbeiten des Hufs, kann die Anbringung von unterstützenden Gurten empfehlenswert sein (EPS, 2008; O'GRADY und PARKS, 2008). EPS und POLLITT (2004) empfehlen die Kryotherapie mit einer Mischung aus Eis und Wasser, die die Entstehung der Hufrehe bzw. eines neuen Hufrehe-Schubes verhindern soll. Die Absenkung der Temperatur sorgt demnach zu einer verminderten Gen-Expression von Entzündungsfaktoren und zur Vasokonstriktion, wodurch die weitere Anschwemmung von Endotoxinen in das Kapillargebiet des Hufes aus dem Blutkreislauf vermindert wird. RIEGEL und HAKOLA (2010) empfehlen unterstützend eine physikalische Therapie mit Softlaser und feucht-warmen Anwendungen.

Diese Möglichkeiten zur Therapie stellen selbstverständlich nur eine Auswahl der am häufigsten benutzten Behandlungen dar. Für den Einzelfall sind die jeweils passenden auszuwählen, meist stellt dabei die jeweilige Ursache die Grundlage für die richtige Wahl dar. Weiterhin spielt der persönliche Erfahrungswert des behandelnden Tierarztes eine wichtige Rolle. Jedoch sollte man auch während der Therapie diese immer wieder hinterfragen und ggf. an die (neuen) Umstände anpassen (BELKNAP und PARKS, 2011; RIEGEL und HAKOLA, 2010) .

9. Prognose

Die Prognose ist laut RIEGEL und HAKOLA (2010) bei der Hufrehe immer sehr vorsichtig zu stellen, da die individuelle Problematik und deren weitere Entwicklung jedes Einzelfalls schlecht vorhergesagt werden kann. Jedenfalls positiv für den Behandlungserfolg wirkt sich die frühzeitige korrekte Diagnosestellung und Behandlung aus, denn die akute Hufrehe zeigt deutlich bessere Behandlungserfolge als die chronische Form. Grundsätzlich ist die Hufbeinrotation prognostisch günstiger als eine Hufbeinsenkung (BELKNAP und PARKS, 2011; FLOYD, 2009b).

FÜRST (2001) legt den für die Prognose-Stellung wichtigen Zeitraum von zwei Tagen bis zum Abklingen der Symptome fest. Danach muss in ca. 10% der Fälle mit Komplikationen gerechnet werden. Als Hauptfaktor für die Beeinflussung der Prognose nennt er das Gewicht der Pferde (schwere Pferde haben demnach eine schlechtere Prognose als leichte) und den Schweregrad der Erkrankung. Als Indikator wird dafür der Grad der Rotation des Hufbeins angesehen:

- Keine Rotation: Prognose gut, vollständige *restitutio ad integrum* möglich und angestrebt
- < 7 Grad: günstige Prognose, *restitutio ad integrum* möglich
- 7 – 12 Grad: Vorsichtige Prognose
- > 12 Grad: Ungünstige bis schlechte Prognose, Pferd kann wahrscheinlich nicht mehr im Sport eingesetzt werden

Nicht zu vergessen ist die Gefahr eines Rezidivs bzw. die Prädisposition für andere Erkrankungen (zum Beispiel Hufabszesse), die sich durch den geschwächten Rehehuf leichter entwickeln können. Auch die korrekte Ausrichtung, Ausbalancierung und Beschlagen des chronischen Rehehufs ist deutlich erschwert (FÜRST, 2001; BELKNAP und PARKS, 2011, FLOYD, 2009a).

FLOYD (2009a) entwickelte das bereits erwähnte Klassifizierungssystem für Hufrehe-Patienten und schließt dabei auch eine Prognose-Stellung mit ein. Sie beruht nicht nur auf der cranialen Rotation, sondern auch auf anderen röntgenologischen Faktoren, wie Breite der H/L - Zone, Abstand des Proc. extensorius zum Kronsaum, das Maß der Sohlendicke an der Hufbeinspitze zu der am Hufbeinast und Veränderungen am Weichteilgewebe. Weiterhin fließen die

Ergebnisse der klinischen Untersuchung und der Venographie dort mit ein. Die Zusammenfassung der Prognosen im Zusammenhang mit dem Rotationswinkel der Grade I – IV soll an dieser Stelle noch einmal aufgelistet werden. Die weiteren Kriterien sind Gliederungspunkt 6.4. *Klassifizierungssystem* zu entnehmen.

Grad I:

- positiver Palmarwinkel zwischen 5 und 9°:
Prognose: Durch eine gewissenhafte Hufkorrektur ist üblicherweise bereits nach wenigen Wochen oder Monaten eine Rückkehr des Pferdes zu früherem Leistungsniveau zu erwarten.

Grad II:

- positiver Palmarwinkel zwischen 10 und 14°:
Prognose: Bei gewissenhafter und regelmäßiger Hufkorrektur ist eine Herstellung des früheren sportlichen Niveaus möglich.

Grad III:

- positiver Palmarwinkel mindestens 15°:
Prognose: Selbst Pferde mit Hufrehe des Grad III können innerhalb von zwei Jahren noch zu ihrem früheren sportlichen Leistungsniveau zurückkehren. Dies hängt jedoch von vielen Faktoren ab, unter anderem vom Alter des Pferdes aber auch wie chronisch der Erkrankungsprozess bereits ist. Häufig entwickeln Pferde mit Grad III im weiteren Verlauf einen Grad IV. Dies kann nur durch massive und umgehende Behandlung verhindert werden.

Grad IV:

- deutlichen positiver Palmarwinkel von über 15°, oft sogar 20-30°:
Prognose: Die Prognose bei cranialer Rotation hängt entscheidend von der umgehenden Einleitung einer adäquaten Behandlung und der individuellen Heilungsfähigkeit des betroffenen Pferdes ab. Es ist möglich, Pferde anschließend zumindest noch lahmheitsfrei auf der Weide zu halten. Eine Rückkehr zum gleichen sportlichen Niveau ist eher selten, wenn auch nicht gänzlich unmöglich. Dennoch werden viele Pferde mit Grad IV und bei Auftreten der deutlichen äußerlichen pathologischen Veränderungen

euthanasiert.

Trotz einer Vielzahl von unterschiedlichen Ansätzen zur Behandlung von Pferden mit ausgeprägter Hufbeinsenkung, ist es bisher nicht gelungen, die Pferde auf ihr früheres sportliches Niveau zurückzubringen. Bei manchen war die Wiederherstellung zum Zuchteinsatz möglich, jedoch bleiben auch bei diesen Pferden pathologische Läsionen und Lahmheiten zurück. Weiterhin zeigen sie höhere Rezidivraten (FLOYD, 2009a). Demnach ist die Hufbeinsenkung prognostisch als deutlich schlechter einzuschätzen als die reine Hufbeinrotation.

Entscheidend für die Prognose, vor allem in Hinblick auf die Rezidiv-Gefahr, sind jedenfalls auch die Besitzer-Compliance und das an die Behandlung anschließende Patienten-Management im Sinne der Prävention. Genauer gesagt bedeutet dies die Sicherstellung von optimaler Haltung, Fütterung, Bewegung, tierärztlicher Betreuung und geeigneter orthopädischer Maßnahmen, zum Beispiel Hufkorrektur oder Beschlag (O'GRADY und PARKS, 2008; RIEGEL und HAKOLA, 2010; FÜRST, 2001).

III. MATERIAL, METHODEN, UND ZWISCHEN - ERGEBNISSE

Im folgenden Teil der Arbeit sind das verwendete Material einschließlich der Patienten und dem Versuchsaufbau beschrieben. Es sind weiterhin die jeweiligen Zwischenergebnisse der einzelnen Versuchsreihen genannt, da deren Bewertung zu Abänderungen bzw. Verbesserungen der jeweils darauffolgenden Versuchsreihe führte. Unter *IV. Ergebnisse* werden dann die einzelnen Zwischenergebnisse der Versuchsreihen zusammengefasst.

Die im Weiteren verwendeten Begriff „Pferd“ oder „Tier“ bezieht sich im Zusammenhang mit den durchgeführten Versuchen nicht auf noch lebende Tiere, sondern auf die Kadaver der gestorbenen/euthanasierten Pferde, deren Gliedmaßen und Hintergrundinformationen zur Untersuchung und Bewertung herangezogen wurden.

1. Versuchsreihe I mit Zwischenergebnissen

1.1. Patientengut

Für die Versuchsreihe I wurden im Zeitraum von Oktober bis Dezember 2012 die Zehen der Vorder- und Hintergliedmaßen von fünf Englischen Vollblutpferden begutachtet. Die abgetrennten Pferdebeine wurden vom Irish Equine Centre in Kildare, Irland, zur Verfügung gestellt. Die Alters- und Geschlechtsverteilung und darunter die Hufrehe-Erkrankungen werden in Tab. 4 ersichtlich. Vier Pferde sind somit Teil der Vergleichsgruppe und waren vorberichtlich nicht an Hufrehe erkrankt. Die Todesursachen dieser Pferde reichen von Frakturen über gastrointestinale bis hin zu hormonellen oder organischen Erkrankungen.

Tabelle 4: Geschlechts- und Altersverteilung in Versuchsreihe I

Geschlecht/Alter	Stute	Hengst	Wallach	gesamt	vorberichtlich Hufrehe
10	1	0	0	1	0
11	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0
14	2	0	0	2	0
15	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0
18	1	0	0	1	1 (Stute)
19	0	0	0	0	0
20	0	1	0	1	0
Gesamt	4	1	0	5	1 (Stute)

1.2. Versuchsaufbau

Die Pferdebeine wurden im Pathologischen Institut des Irish Equine Centre in Kildare, Irland, im Fesselgelenk abgetrennt, jedes Bein mit der zugewiesenen Untersuchungsnummer des Pferdes und der Gliedmaßenbezeichnung (VR: vorne-rechts, VL: vorne-links, HR: hinten-rechts, HL: hinten-links) versehen und in einem Kühlraum bei ca. 6 - 8 Grad Celsius gesammelt. Anschließend wurden sie in das Kenmare Veterinary Centre in Kenmare, Irland, verbracht, um dort weiter untersucht zu werden.

Dazu fand zuerst eine Reinigung der abgetrennten Beine mit Wasser und Bürste statt. Anschließend wurden sie abgetrocknet. Daraufhin erfolgten von jeder Gliedmaße Fotoaufnahmen und Röntgenaufnahmen, bevor sie jeweils einzeln mittels zweier Töpfe mit etwa je zehn Liter heißem Wasser auf einer Gasflamme ca. zwölf bis 24 Stunden (je nach Größe der Gliedmaße) in permanent leicht sprudelndem Wasser gekocht wurden. Auf diese Art und Weise ließen sich anschließend die Hufbeine ohne größere Probleme aus der Hufkapsel herauslösen und von allen organischen Resten befreien. Daraufhin standen sie für die folgende pathologisch-anatomische Untersuchung und Vermessung bereit. Im Anschluss daran wurden die Hufbeine einzeln in gekennzeichneten wiederverschließbaren Tüten verpackt und in beschrifteten Kartons verwahrt. Die Kennzeichnung erfasste wiederum die Untersuchungsnummer und die Bezeichnung der Gliedmaße.

1.2.1. Vorbereitung

Die abgetrennten Gliedmaßen waren durch die oben beschriebene Reinigung für die folgenden Untersuchungen vorbereitet.

1.2.2. Radiologische Untersuchung

Die Röntgenaufnahmen wurden in allen Versuchsreihen mit dem medical ECONet PXP-20HF Plus durchgeführt. Dabei handelt es sich um ein mobiles Gerät mit Hochfrequenz-Technologie und einem maximalen Output von 1.6 kW bei 80 kV.

Als Abstand wurde immer 100 cm gewählt, die Belichtungszeit und Strahlungsintensität betrugen bei Patienten ab 2 Jahren für die 90°- Aufnahme 3,2 mAs und 63 kV und für die 0°-Aufnahme 2,0 mAs und 58 kV, wobei die Werte je nach Größe des Patienten geringgradig angepasst wurden. Für Fohlen unter sechs Monaten wurden für die lateromedialen Aufnahmen 2,5 mAs und 58 kV und für die dorsopalmar 1,6 mAs und 54 kV verwendet. Auf die dorsale Hufwand wurde per Klebstoff eine 10cm - Skala mit Millimeter-Einteilung von Aesculap aufgebracht, welche später auf den Röntgenbildern sichtbar ist und so eine konkrete Größenbestimmung der darauf zu sehenden Strukturen erleichtert.

Für die Projektionen wurden die Gliedmaßen jeweils im 0 - bzw. 90° - Winkel zum Röntgenzentralstrahl ausgerichtet und in möglichst physiologischer Haltung auf einem handelsüblichen Kunststoffblock positioniert. Dazu wurde eine Schnur an der Stelle der Gliedmaße angebracht, an der sie abgetrennt worden war, also unterhalb des Fesselgelenks. Mittels leichtem Zug am Schnurende wurde so die physiologische Haltung der Gliedmaße während der Röntgenaufnahme simuliert. Als Kassetten wurden (je nach Größe der Gliedmaße) die OREX PcCRIP Cassette size 8"x10", Cat.No. CS195870 oder die OREX PcCRIP Cassette size 10"x12", Cat.No. CS195850 verwendet. Dabei handelt es sich um ein System für digitale Lumineszenz-Radiographie.

Ein entsprechende Kennzeichnung und Dokumentation der Gliedmaßen-Informationen wurden umgehend nach jeder Übertragung der Aufnahme auf den Computer durchgeführt. Dazu wurde die Software Scanner Interface benutzt. Es wurden der Untersuchungsnummer des Pferdes jeweils folgende Informationen zugeordnet:

- Zugehörige Röntgenaufnahmen
- Aufnahmerichtung
- Gliedmaßen- bzw. Seitenbezeichnung (VR, VL, HR, HL)
- Einstellungen der Belichtungszeit und Strahlungsintensität
- Diagnose laut Pathologiebericht des Irish Equine Centre

Zu dieser Dokumentation und zur Ansicht der Röntgenbilder wurde der Onyx-RAD Viewer verwendet. Dabei handelt es sich um ein Programm, in welchem Röntgenbilder beurteilt und bearbeitet werden können (zum Beispiel automatische Winkelmessungen, digitale Vergrößerung, Aufhellung oder Kontrastverstärkung, Beschriftung).

Die Speicherung der Röntgenbilder erfolgte anschließend sowohl auf dem Computer des Kenmare Veterinary Centre, als auch auf einer externen Festplatte der Marke Medion mit einer Speicherkapazität von 1000 Gigabyte.

1.2.3. Pathologisch-anatomische Untersuchung

Die durch das Auskochen gewonnenen Hufbeine wurden anschließend unter klarem Wasser gereinigt und danach bei Raumtemperatur getrocknet.

Bei der Vermessung wurden je Hufbein folgende Werte ermittelt:

- Durchmesser des For. soleare mediale bzw. laterale
- Tiefe des Sulcus parietalis medialis bzw. lateralis am palmaren Punkt
- Länge des Sulcus parietalis medialis bzw. lateralis (also jeweils die Strecke von der Inc. bzw. dem For. processus palmaris bis zu dem Durchtrittsloch der Wandarterie der dorsalen Hufwand)
- Länge der Phalanx distalis (also des Hufbeins) vom Processus palmaris bis zur Tragrandkerbe (Crena marginis solearis)
- Länge der mit Knochen überbauten Anteile des Sulcus parietalis medialis bzw. lateralis.

Um die oben genannten Messwerte zu ermitteln wurde ein biegsames Millimeter-Maßband verwendet. Die Messung der Länge des Sulcus parietalis medialis bzw. lateralis wurde mit Hilfe eines dünnen Drahtes ermittelt, der im Sulcus entlang geführt wurde. Sowohl am Anfang als auch am Ende des Sulcus wurde der Draht dann markiert. Anschließend wurde besagter Draht aus dem Sulcus wieder

entfernt und die Länge danach zwischen den beiden Markierungen mithilfe des Messbandes ermittelt. Die Länge des Sulcus parietalis wurde jeweils ins Verhältnis zur Länge der Phalanx distalis gesetzt, um den individuellen Größenunterschied der Pferde zu neutralisieren. Aus diesem Grund wurde auch die Länge der mit Knochenspangen überbauten Anteile mit der Länge des dazugehörigen Sulcus parietalis in Prozent angegeben.

Weiterhin wurde zu jedem Hufbein ein Wort-Kommentar verfasst, in dem neben der Beschreibung des Sulcus, der Knochenüberbauten, der Rauigkeit der Facies parietalis dorsalis und ggf. auch besondere Auffälligkeiten erwähnt wurden, wie zum Beispiel „Hufrand unruhig und nach außen gezogen“ oder die prominente Ausbildung von als „Alternativsulcus/-sulci“ bezeichneten Gefäßrinnen an der Hufwandseite. Zur Dokumentation aller dieser Daten wurde das Programm Microsoft Excel 2010 verwendet.

1.3. Bildmaterial

Sämtliche Fotos wurden mit einer Digitalkamera der Marke Cannon, Modell Power Shot SX40HS durchgeführt. Die Bilddokumentation umfasste den kompletten Versuchsaufbau und beinhaltete sowohl die Dokumentation der röntgenologischen Untersuchung, des Aufbaus des Auskoch-Verfahrens und auch die pathologische Untersuchung. Für die Bild-Dokumentation der röntgenologischen Untersuchung wurden die Gliedmaßen mit der Bezeichnung der individuellen Untersuchungsnummer und der Angabe der Gliedmaße (VR, VL, HR, HL) versehen. Anschließend wurden Bilder von lateral (entsprechend der 90° - Röntgenaufnahme) und von dorsal (entsprechend der 0° - Röntgenprojektion) durchgeführt.

Das Auskochen der Gliedmaßen wurde mittels einer Übersichtsaufnahme durchgeführt, auf welcher sich der Aufbau schlüssig nachvollziehen lässt. Die gewonnenen Hufbeine wurden dann nach der Trocknung aus verschiedenen Aufnahmewinkeln einschließlich entsprechender Kennzeichnung fotografiert, entsprechend der für Röntgenbilder verwendeten Bezeichnung mit 0°, 35°, 90°, 180°, 270° und 325°. Außerdem wurde noch eine Aufnahme erstellt, bei der die Sohlenfläche in einer Übersichtsaufnahme erkennbar war.

In folgender Bilderreihe soll anhand des Hufbeins einer Vordergliedmaße eines der untersuchten Pferde beispielhaft die Aufnahmetechnik gezeigt werden.



Abbildung 7: 0° - Aufnahme des Hufbeins der rechten Vordergliedmaße des Pferdes mit Untersuchungsnummer 12P438 (Stute, 14 Jahre)

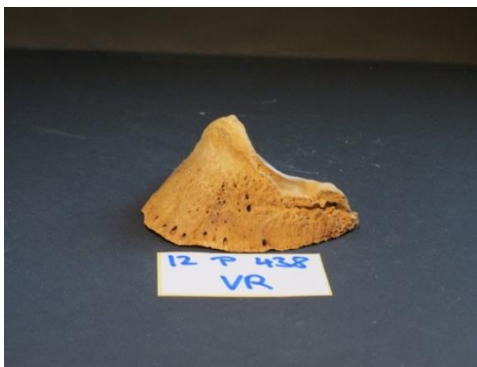


Abbildung 8: 35° - Aufnahme des Hufbeins der rechten Vordergliedmaße des Pferdes mit Untersuchungsnummer 12P438 (Stute, 14 Jahre)



Abbildung 9: 90° - Aufnahme des Hufbeins der rechten Vordergliedmaße des Pferdes mit Untersuchungsnummer 12P438 (Stute, 14 Jahre)



Abbildung 10: 180° - Aufnahme des Hufbeins der rechten Vordergliedmaße des Pferdes mit Untersuchungsnummer 12P438 (Stute, 14 Jahre)



Abbildung 11: 270° - Aufnahme des Hufbeins der rechten Vordergliedmaße des Pferdes mit Untersuchungsnummer 12P438 (Stute, 14 Jahre)

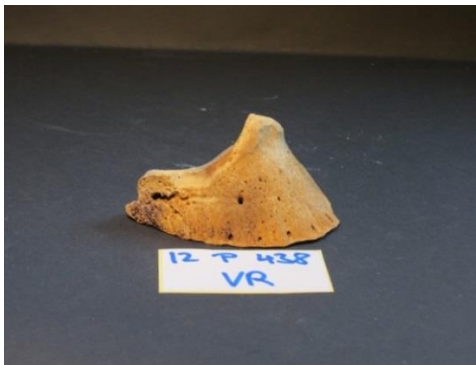


Abbildung 12: 325° - Aufnahme des Hufbeins der rechten Vordergliedmaße des Pferdes mit Untersuchungsnummer 12P438 (Stute, 14 Jahre)



Abbildung 13: Aufnahme zur Abbildung der Sohlenfläche des Hufbeins der rechten Vordergliedmaße des Pferdes mit Untersuchungsnummer 12P438 (Stute, 14 Jahre)

1.4. Ergebnisse

In der pathologisch-anatomischen Untersuchung zeigten die Forr. soleares der jeweiligen Hufbeine sowohl bezüglich eines Individuums, als auch der verschiedenen Pferde im Vergleich kaum Unterschiede bezüglich der Größe und Form.

Das 18-jährige Pferd mit der Untersuchungsnummer 12P426 litt vorberichtlich an Hufrehe und zeigte bei der pathologisch-anatomischen Untersuchung massive Hufbeinveränderungen:

- Zubildungen im Bereich des Sulcus parietalis medialis bzw. lateralis, dadurch deutliche Verengung des Sulcus
- Zubildungen an der Inc. processus palmaris medialis bzw. lateralis
- Unruhige, ungleichmäßige und nach außen gezogene Hufränder
- Hochgradig raue Hufbeinwand
- Ausbildung von mehreren zusätzlichen Gefäßrinnen an der seitlichen Hufwand vom Sulcus parietalis ausgehend (im Weiteren als Alternativsulcus bzw. –sulci bezeichnet).

Die Veränderungen kamen an allen vier Gliedmaßen des Pferdes 12P426 vor, jedoch zeigten sie sich an den Vordergliedmaßen in wesentlich deutlicherem Ausmaß. Auch die anderen Pferde wiesen teilweise vergleichbare Veränderungen, wie das Pferd mit der Nummer 12P429, ein 20-Jähriger, nicht an Hufrehe erkrankter Hengst, jedoch nicht in dem starken Ausmaß wie 12P426. Generell zeigten sich die Befunde an den Vorderbeinen deutlicher als an den Hinterbeinen desselben Pferdes. Dies wurde vor allem auch bei Nummer 12P426, also dem Hufrehe-Pferd, deutlich.

Bei der Auswertung der Röntgenaufnahmen war in der 0°-Aufnahme die Inc. processus parietalis bzw. das For. processus parietalis gut erkennbar. Die 90°-Aufnahme zeigte teilweise eine distale Lageveränderung des Hufbeins oder dessen Rotation innerhalb der Hufkapsel und zwar unabhängig von einer vorberichtlichen Hufrehe-Erkrankung des Pferdes. Weiterhin waren Gaseinschlüsse zwischen manchen Strukturen innerhalb der Hufe erkennbar.

1.5. Interpretation

Aufgrund dieser Zwischenergebnisse wurde die Vermutung, es handle sich bei derartigen Veränderungen um altersphysiologische Knochenumbauvorgänge, die jedoch bei an Hufrehe erkrankten Pferden verstärkt stattfinden, vorangetrieben. Die Auswertung der lediglich fünf Tiere zeigte sich aber als zu wenig aussagekräftig. Deshalb wurden weitere Versuchsreihe mit der Vermessung von weiteren Hufbeinen durchgeführt, um so Basiswerte im Sinne von physiologischen Knochenveränderungen am Hufbein zu erhalten.

Die röntgenologischen Befunde der 90°-Aufnahmen gaben Grund zur Annahme, dass es sich bei den beschriebenen Veränderungen um post mortem aufgetretene Erscheinungen handelt. In Frage kommen dafür Prozesse im Rahmen der Gewebezersetzung und auch die veränderten Druck- und Zugverhältnisse, zum Beispiel der Beugesehnen. Für eine Bestätigung dieser Annahme war eine höhere Anzahl an Untersuchungen nötig, welche in den nächsten Versuchsreihen durchgeführt wurden.

Die 0°-Aufnahmen zeigten die Region der Inc. processus parietalis und evtl. dort vorhandene Überbauungen. Sie ließen vermuten, dass durch weitere Aufnahmen mit anderen Projektionswinkeln evtl. vorhandene Überbauungen und Veränderungen entlang des Sulcus besser beurteilt werden könnten.

2. Versuchsreihe II mit Zwischenergebnissen

Um bezüglich der Normalbefunde und pathologischen Veränderungen am Hufbein aussagekräftigere (Vergleichs-)Werte zu erhalten wurden von Dezember 2012 bis Februar 2013 die Hufbeine der Vorder- und Hinterbeine von weiteren 47 Englisch-Vollblut-Pferden im gleichen Schema wie bei Versuchsreihe I vermessen. Die Hufbeine wurden wiederum vom Irish Equine Centre in Kildare, Irland, zur Verfügung gestellt. Nachdem von diesen Tieren keine Beinabschnitte, sondern nur mehr die Hufbeine vorlagen, wurde auf Röntgenbilder verzichtet und lediglich die pathologisch-anatomische Untersuchung mit entsprechender Bilddokumentation durchgeführt. Im weiteren Verlauf wurde unter Einbeziehung der bis dorthin erhaltenen Ergebnisse ein Bewertungsschema (Score-System) entwickelt, um die Veränderungen am Hufbein in Zahlenwerten ausdrücken zu können. Somit konnte neben der reinen optischen auch eine statistische Auswertung erfolgen.

2.1. Patientengut

Die Alters- und Geschlechtsverteilung, sowie das Auftreten von Hufrehe innerhalb der 47 Pferde sind Tab. 5 zu entnehmen.

Tabelle 5: Alters- und Geschlechtsverteilung in Versuchsreihe II

Geschlecht/Alter	Stute	Hengst	Wallach	gesamt	vorberichtlich Hufrehe
< 1	9	11	0	20	0
1	1	2	0	3	0
2	0	1	0	1	0
3	1	0	0	1	0
4	0	0	0	0	0
5	1	1	0	2	1 (Stute)
6	1	0	0	1	1 (Stute)
7	1	0	0	1	0
8	1	1	1	3	0
9	1	0	1	2	0
10	1	0	2	3	0
11	1	0	0	1	0
12	0	0	0	0	0
13	2	0	0	2	0
14	2	0	0	2	0
15	0	0	0	0	0
16	1	0	0	1	0
17	1	0	0	1	1 (Stute)
18	2	0	0	2	0
19	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0
21	1	0	0	1	0
Gesamt	27	16	4	47	3 (Stuten)

2.1.1. Pathologisch-anatomische Untersuchung

Da das Vermessen der Hufbeine nach demselben Schema erfolgte wie bei den Hufbeinen der Versuchsreihe I wird an dieser Stelle nicht mehr explizit auf die Vorgehensweise eingegangen.

2.2. Bildmaterial

Auch die Fotos wurden wiederum mit der Digitalkamera der Marke Cannon, Modell Power Shot SX40HS und in derselben Weise wie bei Versuchsreihe I durchgeführt.

2.3. Ergebnisse

Auch in der zweiten Versuchsreihe zeigten sich die bereits in *1. Versuchsreihe I mit Zwischenergebnissen* erwähnten knöchernen Veränderungen in verschieden starker Ausprägung.

Um die beobachteten und beschriebenen Veränderungen statistisch zu erfassen wurde aufgrund der bisherigen Ergebnisse ein Bewertungssystem entwickelt, in welchem die bedeutendsten Veränderungen mit Punkten von null bis sechs bewertet wurden, wobei null keine Veränderung und sechs hochgradige Veränderung bedeutete. Pro Pferd wurden dabei die Auffälligkeiten der Hufbeine der beiden Vordergliedmaßen und zwar sowohl die mediale, als auch die laterale Seite, in die Berechnung mit einbezogen. Da sich die Hintergliedmaßen bei allen Tieren immer unauffälliger als die entsprechenden Vorderbeine darstellten, wurde darauf verzichtet, die Hintergliedmaßen mit in die weiteren Versuche bzw. Auswertungen mit einzubeziehen. Diese Beobachtung deckt sich mit derer vieler Autoren, wonach Hufrehe nahezu ausschließlich an den Vorderbeinen oder allen vier Gliedmaßen vorkommt, wobei auch dann üblicherweise die Vordergliedmaßen stärker betroffen sind, als die Hintergliedmaßen (RIEGEL und HAKOLA 2010; KNOTTENBELT und PASCOE, 2000; BELKNAP und PARKS, 2011; FÜRST, 2001).

Die Entscheidung, welche Hufbeinveränderungen Teil des Bewertungsschemas werden sollten, wurde aufgrund folgender Kriterien getroffen:

Rauigkeit:

Die übermäßig poröse Struktur des Hufbein-Knochens bzw. die Rauigkeit der Knochenoberfläche spricht für eine Demineralisation als Folge der Blut-Unterversorgung (RENDANO und GRANT, 1978) oder/und für entzündliche Prozesse in Form einer Osteitis, welche unter anderem bei Hufrehe auftritt (BUTLER, et al., 2000). Deshalb wurde die Rauigkeit als Faktor in das Bewertungssystem aufgenommen.

Prozentuale Überbauung des Sulcus/Spangenbildung und Durchmesser bzw. Tiefe des Sulcus parietalis medialis bzw. lateralis:

Sowohl die Überbauung des Sulcus mit einhergehender knöcherner Spangenbildung als auch ein zu geringer Durchmesser des jeweiligen For. processus palmaris oder eine grundsätzlich zu geringe Tiefe des Sulcus parietalis medialis bzw. lateralis schränken die darin verlaufenden Blutgefäße räumlich ein und können so zu einer Blut-Unterversorgung beitragen. Je größer dabei der Anteil der Überbauung ist und/oder je kleiner der Durchmesser des For. processus

palmaris bzw. die Tiefe des Sulcus parietalis medialis bzw. lateralis, desto mehr kann von einem negativen Einfluss auf das Blutgefäßsystem und die Blutversorgung ausgegangen werden. Somit wurden auch diese beiden Kriterien für das Bewertungssystem herangezogen.

Alternativsulcus/-ci:

Die Bildung eines Alternativsulcus bzw. -ci ist ein Anzeichen dafür, dass eine Blutunterversorgung bereits länger vorliegt und das Blutgefäßsystem als Kompensationsversuch kleinere Gefäße stärker aktiviert bzw. neue Gefäße ausgebildet werden (THRALL, 1994). Die verstärkte Ausbildung der dadurch auftretenden Gefäßrinnen wurde deshalb als wichtiges Kriterium für das Bewertungssystem angesehen.

Anfangs wurde in Betracht gezogen, auch die Durchmesser der Forr. soleare mit in die Bewertung mit einzubeziehen. Da jedoch bei den Messungen der Versuchsreihen I und II keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Größe der Forr. soleare festgestellt werden konnten und zwar sowohl bei den nicht, als auch bei den an Hufrehe erkrankten Pferden, wurde darauf verzichtet. Die in das Bewertungssystem aufgenommenen Kriterien werden in einem ähnlichen Zusammenhang in einer Untersuchung von RIJKENHUIZEN, et al. (1989) erwähnt. Dort wurde die arterielle Versorgung des Strahlbeins künstlich geblockt, was eine Unterversorgung des Strahlbeins zur Folge hatte. Es zeigten sich unter anderem gesteigerte Knochenumbauprozesse, eine Verschiebung der arteriellen Versorgung und zusätzliche Ausbildung von Kollateralgefäße.

In den Tabellen 6 bis 9 werden im Folgenden die im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Bewertungsschemata gezeigt.

Tabelle 6: Schema zur Ermittlung der Überbauung des Sulcus parietalis medialis und lateralis in %

Score	Grad der Überbauung des Sulcus parietalis in % (mit x entsprechend dem Wert der anteiligen Überbauung)
0	keine
1	(+) - - mindestens 1 Ansatz zur Spange; weniger als 3 Ansätze zu Spangen und $x = 0$, also keine geschlossene Überbauung (0%)
2	+ - - mindestens 3 Ansätze zu Spangen; weniger als 5 Ansätze zu Spangen oder $0\% < x \leq 15\%$ geschlossene Überbauung
3	+ (+) - mindestens 5 Ansätze zu Spangen; weniger als 7 Ansätze zu Spangen oder $15\% < x \leq 30\%$ geschlossene Überbauung
4	+ + - mindestens 7 Ansätze zu Spangen; weniger als 9 Ansätze zu Spangen $30\% < x \leq 45\%$ geschlossene Überbauung
5	+ + (+) mindestens 9 Ansätze zu Spangen; weniger als 11 Ansätze zu Spangen $45\% < x \leq 60\%$ geschlossene Überbauung
6	+ + + mehr als 11 Ansätze zu Spangen $x > 60\%$ geschlossene Überbauung

Tabelle 7: Schema zur Bewertung der Tiefe des Sulcus parietalis medialis und lateralis in mm

Score	Tiefe/Durchmesser des Sulcus (= x) in mm
0	$x > 6$
1	$5 < x \leq 6$
2	$4 < x \leq 5$
3	$3 < x \leq 4$
4	$2 < x \leq 3$
5	$1 < x \leq 2$
6	$x \leq 1$

Tabelle 8: Schema zur Bewertung der Rauigkeit der Wandfläche des Hufbeins

Score	Rauigkeit der Facies parietalis
0	- - - ; keine
1	(+) - - ; keine - ggr.
2	+ - - ; ggr.
3	+ (+) - ; ggr. - mgr.
4	+ + - ; mgr.
5	+ + (+) ; mgr. - hgr.
6	+ + + ; hgr.

Tabelle 9: Schema zur Bewertung des Alternativsulcus/der Alternativsulci am Sulcus parietalis medialis bzw. lateralis

Score	Anzahl und Ausprägung des/der Alternativsulcus/-sulci an Facies parietalis
0	kein Alternativsulcus
1	mindestens 1 ggr. Alternativsulcus; weniger als 3 ggr. Alternativsulci und kein mgr. Alternativsulcus und kein hgr. Alternativsulcus
2	mindestens 3 ggr. Alternativsulci; weniger als 5 ggr. Alternativsulci oder mindestens 1 mgr. Alternativsulci; weniger als 3 mgr. Alternativsulci und kein hgr. Alternativsulcus
3	mindestens 5 ggr. Alternativsulci; weniger als 7 ggr. Alternativsulci oder mindestens 3 mgr. Alternativsulci; weniger als 5 mgr. Alternativsulci und kein hgr. Alternativsulcus
4	mindestens 7 ggr. Alternativsulci; weniger als 9 ggr. Alternativsulci oder mindestens 5 mgr. Alternativsulci; weniger als 7 mgr. Alternativsulci oder mindestens 1 hgr. Alternativsulcus; weniger als 5 hgr. Alternativsulci
5	mindestens 9 ggr. Alternativsulci; weniger als 11 ggr. Alternativsulci oder mindestens 7 mgr. Alternativsulci; weniger als 7 mgr. Alternativsulci oder mindestens 3 hgr. Alternativsulci; weniger als 5 hgr. Alternativsulci
6	mindestens 11 ggr. Alternativsulci oder mindestens 9 mgr. Alternativsulci oder mindestens 5 hgr. Alternativsulci

Pro Seite jedes Hufbeins (also je medialer und lateraler Teil des Hufbeins) konnte je Kriterium ein Wert von null bis sechs Punkte vergeben werden. Da von jedem Pferd die Hufbeine beider Vordergliedmaßen bewertet wurden, bedeutet das einen maximalen Score-Wert von 96 Punkten pro Pferd (maximal 48 Punkte pro Hufbein jeder Vordergliedmaße).

2.4. Interpretation

Aufgrund der weiteren Ergebnisse konnten bis zu diesem Zeitpunkt der Untersuchung folgende Aussagen getroffen werden:

Während der Auswertung der pathologisch-anatomischen Untersuchung der Hufbeine stellte sich heraus, dass ein Einbeziehen der Pferde unter 2 Jahre nicht empfehlenswert, da zu wenig aussagekräftig ist. Der Sulcus parietalis medialis bzw. lateralis bildet sich offensichtlich erst mit zunehmender Knochenreife aus. Im Fohlenalter ist er nur zu erahnen bzw. kaum sichtbar. Dieser Erfahrungswert der Autorin wird durch Aussagen der Fachliteratur bestätigt, wonach der Proc. parietalis nicht bereits ab der Geburt ausgebildet ist, sondern erst im Laufe der folgenden 12 Monate verknöchert. Das Hufbein an sich verknöchert erst ab einem Lebensalter von ca. 18 Monaten (BUTLER, et al., 2000). Weiterhin sind Hufrehe-Fälle vor diesem Alter äußerst selten und treten eigentlich nur im Zusammenhang mit kongenitaler Hufrehe bei Epidermolysis bullosa beim Quarter Horse (AFFOLTER und BORCHERS, 2011), beim Belgischen Kaltblut auf (KOHN, et al., 1989) oder beim American-Saddlebred (HIERLMEIER, et al., 2013) auf.

Da die bisherige Anzahl von vier Pferden in der Hufrehe-Gruppe noch zu gering war, um eine fundierte Aussage treffen zu können, waren weitere Untersuchungen von Präparaten von Pferden mit vorberichtlicher Hufrehe nötig. Diese wurden in den weiteren Versuchsreihen vorgenommen. Um die Basiswerte der Vergleichsgruppe zu verifizieren wurden in Versuchsreihe III noch weitere vorberichtlich nicht an Hufrehe erkrankte Pferde ebenfalls untersucht.

3. Versuchsreihe III mit Zwischenergebnissen

Aufgrund der Ergebnisse in den Versuchsreihen I und II wurden folgende Änderungen für die weiteren Versuchsreihen beschlossen:

- Vernachlässigung der Vermessung des For. soleare mediale und laterale
- Beschränken der Untersuchung auf die Vordergliedmaßen der Pferde ab einem Alter von 2 Jahren
- Anfertigen von zusätzlichen Projektionen mit 35° bzw. 325° bei der Röntgen-Untersuchung, um den Anfang und den Verlauf des Sulcus parietalis medialis bzw. lateralis besser röntgenologisch beurteilen zu können.

3.1. Patientengut

Für die Versuchsreihe III wurden im Mai 2013 die Vorderbeine von 16 Englischen Vollblütern pathologisch und röntgenologisch untersucht, von denen sieben in die Bewertung einfließen. Die restlichen neun Tiere waren unter zwei Jahre alt und demnach nicht Teil der Bewertung. Von den sieben Pferden waren sechs Stuten, ein Hengste und kein Wallach. Die Altersspanne betrug zwischen zwei und sechs Jahren. Vorberichtlich war keines der Pferde an Hufrehe erkrankt. Alle diese Pferde wurden somit zur Unterstützung zum Erlangen der „physiologischen Basis-Werte“ im entwickelten Schema untersucht. Auf diese Weise sollte ein Vergleichswert für das entworfene Schema für die an Hufrehe erkrankten Pferde geschaffen werden. Dazu wurde auch eine ausführlichere Röntgen-Untersuchung durchgeführt.

Tabelle 10: Alters- und Geschlechtsverteilung in Versuchsreihe III

Geschlecht/Alter	Stute	Hengst	Wallach	gesamt	vorberichtlich Hufrehe
2	1	1	0	2	0
3	1	0	0	1	0
4	1	0	0	1	0
5	2	0	0	2	0
6	1	0	0	1	0
Gesamt	6	1	0	7	0

3.2. Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau entsprach dem der Versuchsreihe I, allerdings wurden, wie bereits erwähnt, die Hintergliedmaßen nicht mehr erfasst.

3.2.1. Vorbereitung

Da die Vorbereitung in ihrer Durchführung nicht von Versuchsreihe I abwich, wird auf deren Ablauf an dieser Stelle nicht erneut eingegangen.

3.2.2. Radiologische Untersuchung

Die Röntgenaufnahmen wurden wieder mit dem medical ECONet PXP-20HF Plus und mit derselben Vorgehensweise durchgeführt.

Zusätzlich zu den 0°- und 90°- Projektionen wie in Versuchsreihe I, wurden jedoch ebenfalls Aufnahmen mit 35° und 325° durchgeführt, um den Verlauf des Sulcus parietalis medialis bzw. lateralis besser darstellen zu können.

3.2.3. Pathologisch-anatomische Untersuchung

Die Beurteilung und das Vermessen der Hufbeine erfolgten nach demselben Schema wie bei den Hufbeinen der Versuchsgruppe I und II.

3.3. Bildmaterial

Auch die Fotos wurden wie in den vorhergegangenen Versuchsreihen mit der Digitalkamera der Marke Cannon, Modell Power Shot SX40HS und in derselben Weise durchgeführt.

3.4. Ergebnisse

Die Ergebnisse der Versuchsreihe III bestätigten die der vorangegangenen beiden Versuchsreihen. Auch hier zeigten sich die Veränderungen zunehmend mit dem Alter der Pferde deutlicher. Auch dieses Mal wurden die Veränderungen mit dem Schema aus Versuchsreihe II bewertet und erfasst. Sie sind ebenfalls Teil der Gesamtauswertung im Kapitel IV. *Ergebnisse*.

Auf den 35°- und 325°-Projektionen ließ sich ein weiterer Abschnitt des Sulcus parietalis medialis bzw. lateralis gut erkennen.

3.5. Interpretation

Die beiden zusätzlichen Röntgenaufnahmen mit 35° und 325° zeigten sich als wertvolle Ergänzung, um den Verlauf des Sulcus parietalis lateralis bzw. medialis darzustellen. In der nächsten Versuchsreihe sollten noch zusätzliche Projektionen durchgeführt werden, um zu entscheiden, ob sie sich als notwendige und aussagekräftige Ergänzung eignen würden, unter anderem auch, um den Verschluss des Sulcus parietalis medialis bzw. lateralis auch später am lebenden Pferde erkennen und bewerten zu können.

Um einen aussagekräftigen Vergleich zwischen der Vergleichsgruppe und der Hufrehe-Gruppe zu erhalten, war es nötig, weitere Pferde mit Hufrehe nach dem entwickelten Versuchs- bzw. Bewertungsschema zu erfassen. Dies geschah in Versuchsreihe IV.

4. Versuchsreihe IV mit Zwischenergebnissen

4.1. Patientengut

Im November und Dezember 2013 umfasste die Versuchsreihe neun Englisch Vollblutpferde. Davon waren sechs Stuten, ein Hengst und zwei Wallache. Darunter waren acht Pferde vorberichtlich an Hufrehe erkrankt bzw. Hufrehebedingt euthanasiert worden, eines starb an einer anderen Todesursache und wurde dementsprechend der Vergleichsgruppe zugeordnet.

Tabelle 11: Alters- und Geschlechtsverteilung in Versuchsreihe IV

Geschlecht/Alter	Stute	Hengst	Wallach	gesamt	vorberichtlich Hufrehe
3	1	1	0	2	2 (1 Stute + 1 Hengst)
4	1	0	0	1	1 (Stute)
5	1	0	0	1	1 (Stute)
6	0	0	0	0	0
7	0	0	1	1	1 (Wallach)
8	0	0	0	0	0
9	1	0	0	1	1 (Stute)
10	0	0	0	0	0
11	1	0	0	1	1 (Stute)
12	0	0	0	0	0
13	0	0	1	1	1 (Wallach)
14	0	0	0	0	0
15	1	0	0	1	0
Gesamt	6	1	2	9	8 (5 Stuten + 1 Hengst + 2 Wallache)

4.2. Versuchsaufbau

Es wurden die Vordergliedmaßen von neun Englischen Vollblutpferden nach dem Schema der Versuchsgruppen I, II und III vermessen und ausgewertet. Zuvor wurden davon die bereits erwähnten Röntgenaufnahmen angefertigt. Auch alle weiteren Maßnahmen (Foto- und Röntgenaufnahmen, Auskochen, pathologisch-anatomische Untersuchung/Vermessen und Verpacken mit Kennzeichnung) folgten dem Schema der vorhergegangenen Versuchsreihen.

4.2.1. Vorbereitung

Die Vordergliedmaßen wurden wie bei den vorherigen Versuchsreihen im Pathologischen Institut des Irish Equine Centre in Kildare, Irland, im Fesselgelenk abgetrennt und in einem Kühlraum gesammelt. Jedes Bein wurde mit einer

individuellen Identifikationsnummer und der Angabe der Gliedmaße versehen. Danach wurden sie in das Kenmare Veterinary Centre in Kenmare, Irland, gebracht, um dort die weiteren Untersuchungen durchzuführen. Da die Präparate bereits sauber waren, konnte dieses Mal auf eine Reinigung mit Bürste und Wasser verzichtet werden.

4.2.2. Radiologische Untersuchung

Wie in Versuchsreihe III wurden 0°-, 35°-, 90°- und 325°- Projektionen mit dem medical ECONet PXP-20HF Plus angefertigt. Zusätzlich wurden noch Projektionen mit 70° und 290° durchgeführt, um den Verlauf des Sulcus parietalis medialis bzw. lateralis noch besser verfolgen und aufzeigen zu können.

Es wurde dasselbe technische Zubehör und dieselbe Software wie für die Versuchsreihen I bis III verwendet.

4.2.3. Pathologisch-anatomische Untersuchung

Das Vermessen der Hufbeine und die Auswertung der pathologisch-anatomischen Untersuchung erfolgten nach dem Schema der vorhergegangenen Versuchsreihen I, II und III.

4.3. Bildmaterial

Wiederum wurden die Fotos wie auch in den vorhergegangenen Versuchsreihen mit der Digitalkamera der Marke Cannon, Modell Power Shot SX40HS und in derselben Weise durchgeführt.

4.4. Ergebnisse

Die Ergebnisse der Versuchsreihe IV bestätigten die der vorangegangenen Versuchsreihen. Die Veränderungen bezüglich der knöchernen Überbauungen des Sulcus, der Tiefe des Sulcus, der Rauigkeit der Knochenoberfläche und den gebildeten Alternativsulci des Hufbeins zeigten sich bei zunehmendem Alter der Pferde deutlicher. Auch dieses Mal wurden die Veränderungen mit dem Schema aus Versuchsreihe II bewertet und erfasst. Sie sind ebenfalls Teil der

Gesamtauswertung in Kapitel IV. *Ergebnisse*.

Die zusätzlich zu den vorangegangenen Röntgenaufnahmen angefertigten 70° - und 290° - Projektionen stellten sich als wertvoll für die eingehendere Beurteilung des Sulcus parietalis medialis bzw. lateralis heraus.

4.5. Interpretation

Die beiden zusätzlichen Projektionen mit 70° und 290° zeigten sich als weitere sinnvolle Ergänzung, um den Verlauf des Sulcus parietalis lateralis und medialis darzustellen. Es wurde durch die Vielzahl an Projektionen deutlich, dass sich der Verlauf des Sulcus parietalis medialis bzw. lateralis bzw. dort evtl. vorhandene Überbauungen röntgenologisch recht gut verfolgen lässt bzw. lassen. Dies ist auch ggf. im Hinblick auf die Untersuchungsmöglichkeit in der Praxis als Diagnosemöglichkeit am lebenden Pferd eine wichtige Erkenntnis.

5. Versuchsreihe V mit Zwischenergebnissen

5.1. Patientengut

Die fünfte und letzte Versuchsreihe dieser Arbeit wurde im April 2014 durchgeführt. Sie umfasste fünf Englisch Vollblut Pferde, darunter drei Stuten im Alter von zwei, elf und 16 Jahren und zwei Wallache im Alter von drei und acht Jahren. Alle diese Pferde litten vorberichtlich an chronischer Hufrehe und wurden deshalb der Versuchsgruppe zugeordnet.

Tabelle 12: Alters- und Geschlechtsverteilung in Versuchsreihe V

Geschlecht/Alter	Stute	Hengst	Wallach	gesamt	vorberichtlich Hufrehe
< 1	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0
2	1	0	0	1	1 (Stute)
3	0	0	1	1	1 (Wallach)
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0
8	0	0	1	1	1 (Wallach)
9	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0
11	1	0	0	1	1 (Stute)
12	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0
16	1	0	0	1	1 (Stute)
17	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0
Gesamt	3	0	2	5	5 (3 Stuten + 2 Wallache)

5.2. Versuchsaufbau

Der Ablauf und die Durchführung der Untersuchungen fanden nach demselben Schema wie in den vorhergegangenen Versuchsreihen statt.

5.2.1. Vorbereitung

Die Vordergliedmaßen wurden wieder im Pathologischen Institut des Irish Equine Centre in Kildare, Irland, im Fesselgelenk abgetrennt und im Kühlraum gesammelt. Jedes Bein wurde eindeutig gekennzeichnet, in das Kenmare Veterinary Centre in Kenmare, Irland, transportiert, um dort die weiteren Untersuchungen durchzuführen. Da die Präparate bereits sauber waren, konnte auch dieses Mal auf eine Reinigung mit Bürste und Wasser verzichtet werden.

5.2.2. Radiologische Untersuchung

Wie in Versuchsreihe IV wurden 0°-, 35°-, 70°-, 90°-, 290°- und 325°-Projektionen mit dem medical ECONET PXP-20HF Plus angefertigt. Als Kassetten wurden jedoch aufgrund einer Modernisierungsmaßnahme der Klinik in dieser Versuchsreihe die REGIUS cassette RC-300 von Konica Minolta benutzt und dementsprechend das passende Lesegerät von Konica Minolta REGIUS Σ II verwendet. Als Software-Programm zur Begutachtung und Bearbeitung der Aufnahmen wurde der dazugehörige ImagePilot benutzt.

5.2.3. Pathologisch-anatomische Untersuchung

Das Vermessen und die Bewertung der Hufbeine erfolgten nach dem Schema der vorhergegangenen Versuchsreihen.

5.3. Bildmaterial

Wiederum wurden wie in den vorangegangenen Versuchsreihen die Fotos der Gliedmaßen-Präparate und Hufbeine mit der Digitalkamera der Marke Cannon, Modell Power Shot SX40HS und nach demselben Schema aufgenommen.

5.4. Ergebnisse

Auch in der letzten Versuchsreihe waren die bereits in den vorigen Versuchsreihen ermittelten Ergebnisse vorhanden. Die Veränderungen am Hufbein bezüglich Überbauungen des Sulcus, Tiefe des Sulcus, Rauigkeit der Knochenoberfläche und Alternativsulci des Hufbeins zeigten sich in dieser

Versuchsreihe sehr deutlich. Darüber hinaus wiesen einige der Tiere sehr unruhige und nach oben gewölbte Hufbeinränder auf. Wiederum wurden die Veränderungen mit dem Schema aus Versuchsreihe II bewertet und erfasst. Sie sind ebenfalls Teil der Gesamtauswertung in Kapitel IV. *Ergebnisse*.

Da die röntgenologische Untersuchung wie in Versuchsreihe IV durchgeführt wurde, konnte auch in der letzten Versuchsreihe der Sulcus parietalis medialis bzw. lateralis röntgenologisch in den aufgenommenen Abschnitten dargestellt und bewertet werden.

5.5. Interpretation

Die sich bereits in den vorigen Versuchsreihen gezeigten Untersuchungsergebnisse wurden durch die der letzten Versuchsreihe weiter unterstützt. Da es sich bei den fünf Pferden dieser Versuchsreihe allesamt um Hufrehe-Pferde in verschiedenen Altersstufen handelte, lieferten ihre Untersuchungen wertvolle Ergänzungen zu den bisherigen Untersuchungsergebnissen der Versuchsgruppe. Die Ausbildung der Veränderungen am Hufbein ließ sich in dieser Versuchsreihe vermehrt feststellen und zeigte sich sowohl in der pathologisch-anatomischen Untersuchung, als auch in deren Bewertung per Score.

In der röntgenologischen Auswertung zeigte sich die gute Verfolgbarkeit des Sulcus parietalis medialis bzw. lateralis mittels der verschiedenen Projektionswinkel. Diese stellen somit eine wertvolle Möglichkeit zur bildlichen Darstellung der knöchernen Überbauungen auch am lebenden Pferd dar.

IV. ERGEBNISSE

Im vorliegenden Kapitel werden die Ergebnisse aller im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Versuchsreihen zusammengefasst. Dabei werden die pathologisch-anatomische, die röntgenologische Untersuchung und die daraus resultierende Statistik eingehend betrachtet.

1. Ergebnisse der pathologisch-anatomischen Untersuchung

In Versuchsreihe I handelte es sich um fünf Pferde im Alter von zehn bis 21 Jahren, darunter vier Stuten und ein Hengst. Eine dieser Stuten im Alter von 18 Jahren war vorberichtlich an Hufrehe erkrankt. Bei der pathologisch-anatomischen Untersuchung aller vier Hufbeine jedes Pferdes zeigten sich bei den älteren Pferden deutliche Veränderungen am Hufbein:

- Knöcherne Zubildungen im Bereich des Sulcus parietalis medialis bzw. lateralis, dadurch Verengung des Sulcus (bei fünf der fünf Pferde)
- Knöcherne Zubildungen an der Inc. processus palmaris medialis bzw. lateralis, teilweise ebenfalls verbunden mit einer Einengung des Sulcus parietalis medialis bzw. lateralis (bei fünf der fünf Pferde)
- Raue Hufbeinwand (bei fünf der fünf Pferde)
- Ausbildung von einer/einem oder mehreren zusätzlichen Gefäßrinne(n)/Alternativsulcus bzw. -sulci (bei fünf der fünf Pferde)

Bei allen untersuchten Tieren zeigten sich die Veränderungen an den Vordergliedmaßen jeweils deutlicher als an den zugehörigen Hintergliedmaßen. Beim Pferd mit der Versuchsnummer 12P426 traten diese Veränderungen außergewöhnlich deutlich auf und zusätzlich noch ein nach außen gewölbter Hufbeinrand. Die Veränderungen waren an den Hufbeinen aller vier Gliedmaßen zu erkennen, jedoch mit wesentlich massiverer Ausprägung an denen der Vordergliedmaßen. Das Pferd Nummer 12P426 litt vorberichtlich an chronischer Hufrehe und war zum Zeitpunkt der Euthanasie 18 Jahre alt.



Abbildung 14: 35°-Aufnahme des Hufbeins der linken Vordergliedmaße des Pferdes mit Untersuchungsnummer 12P426 (Stute, 18 Jahre)



Abbildung 15: 325°-Aufnahme des Hufbeins der linken Vordergliedmaße des Pferdes mit Untersuchungsnummer 12P426 (Stute, 18 Jahre)

Ein 20-Jähriger, nicht an Hufrehe erkrankter Hengst (Nr. 12P429), zeigte ebenfalls die beschriebenen Veränderungen, jedoch in weniger deutlichem Ausmaß als 12P426. Allerdings waren sie auffälliger als bei Pferden der Gruppe mit geringerem Alter, zum Beispiel 12P438 oder 12P431, welche beide 14 Jahre alt waren. Zum Vergleich mit den Abbildungen 14 und 15 sollen hier entsprechende Aufnahmen des Tieres 12P429 gezeigt werden.

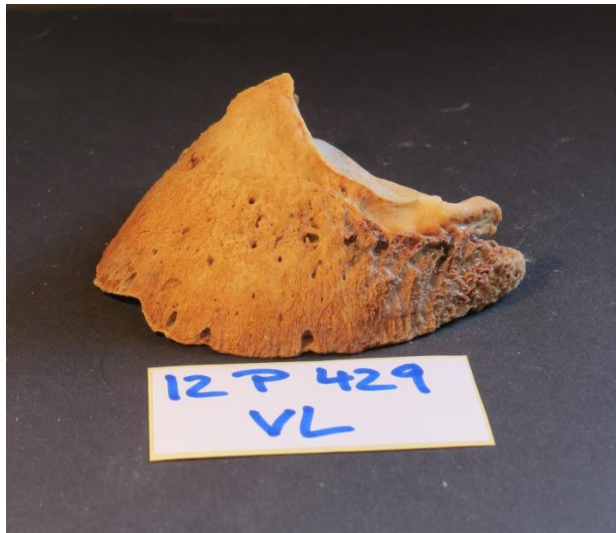


Abbildung 16: 35°-Aufnahme des Hufbeins der linken Vordergliedmaße des Pferdes mit Untersuchungsnummer 12P429 (Hengst, 20 Jahre)



Abbildung 17: 325°-Aufnahme des Hufbeins der linken Vordergliedmaße des Pferdes mit Untersuchungsnummer 12P429 (Hengst, 20 Jahre)

Die Hufbein-Veränderungen des 20-jährigen Hengstes mit der Nummer 12P429 sind deutlich zu erkennen: mehrere Alternativsulci, Ansätze zu Spangenbildung am Sulcus parietalis medialis bzw. lateralis und eine mittelgradige Rauigkeit der Hufbeinoberfläche. Im Vergleich jedoch mit dem zwei Jahre jüngeren Pferd 12P426 in den Abbildungen 14 und 15, zeigen sich besagte Veränderungen bei diesem noch wesentlich deutlicher: Die Alternativsulci sind tiefer und in größerer Anzahl, die Überbauungen des Sulcus parietalis medialis bzw. lateralis sind umfangreicher und die Rauigkeit ist mittelgradig bis hochgradig.

Nach der Auswertung der Versuchsreihe I wurde deutlich, dass eine wesentlich größere Anzahl an Präparaten, sowohl von vorberichtlich nicht an Hufrehe erkrankten Pferden, als auch von an Hufrehe erkrankten Pferde benötigt werden würde, um ein repräsentatives Ergebnis zu erhalten. Deshalb wurden weitere Versuchsreihen durchgeführt.

Versuchsreihe II umfasste 47 Pferde, darunter 27 Stuten, 16 Hengste und vier Wallache. Davon waren drei Pferde vorberichtlich an Hufrehe erkrankt, jeweils Stuten im Alter von fünf, sechs und 17 Jahren.

Um die Daten erfassen und statistisch auswerten zu können, wurde aufgrund der Teilergebnisse der pathologisch-anatomischen Untersuchung aus den Versuchsreihen I und II ein Bewertungssystem entwickelt, wonach die Hufbeinveränderungen mittels eines Scores (Punktesystem) bewertet werden konnten. Für jedes der Kriterien, die sich aufgrund der pathologisch-anatomischen Untersuchung im Rahmen der Versuche als voraussichtlich aussagekräftig herausgestellt hatten, konnte pro Hufbein pro Seite (also mediale und laterale Seite des Hufbeins) ein Score von null bis sechs verteilt werden. Das bedeutet, jedes Pferd konnte einen Score von null bis 24 pro Seite des Hufbeins, also null bis 48 pro Hufbein jeder Vordergliedmaße erreichen.

Aufgrund der bereits unter 2. *Versuchsreihe II mit Zwischenergebnissen* erläuterten Gründe, wurden jeweils nur die Hufbeine beider Vordergliedmaßen jedes Versuchspferdes ab dem Alter von zwei Jahren mit dem Score-System bewertet. Als Grundlage wurden die Bewertungen und Messungen der pathologisch-anatomischen Untersuchung herangezogen. Die Werte der Länge des Sulcus parietalis medialis bzw. lateralis wurde dabei in das Verhältnis zur Länge des Hufbeins gesetzt, gemessen von der Inc. processus palmaris bzw. des For. processus palmaris zur Hufbeinspitze. Die überbauten Anteile des Sulcus parietalis medialis bzw. lateralis wurden wiederum ins Verhältnis zur Länge des jeweiligen Sulcus gesetzt. Somit wurden Prozentwerte ermittelt, welche von individuellen Größenunterschieden der Hufbeine unabhängig sind. Die Bewertung erfolgte ohne vorheriges Wissen, welche der Pferde vorberichtlich an Hufrehe erkrankt waren bzw. welches Alter und Geschlecht die Tiere aufwiesen. Diese Information wurde erst anschließend vom Irish Equine Centre weitergegeben –

somit konnte eine unvoreingenommene Bewertung gewährleistet werden.

Das genaue Vorgehen zur Ermittlung des Scores soll anhand eines Pferdes exemplarisch erklärt werden. Zu beachten ist, dass bei der Gliedmaße VR die Bezeichnung „links“, medial bedeutet und „rechts“, lateral. Bei der Gliedmaße VL ist es entsprechend umgekehrt.

Tabelle 13: Ergebnisse der pathologisch-anatomischen Untersuchung des Pferdes 404 (Stute, 9 Jahre)

Nummer/ Bezeichnung Gliedmaße	Alter in Jahren	links (L)/ rechts (R)	Tiefe des Sulcus parietalis am palmar en Punkt in mm; (d= Durch messer)	Länge des Sulcus parietalis (in mm)	Länge des P3 von Inc. proc. palmar is bis zur Spitze des P3 (in mm)	Länge des Sulcus/ Länge des P3 in %	Überbau ut/ geschlo ssen in mm	Überbau ut/ geschlo ssen in %	Kommentar (AS=Alternativsulcus/-ci)
404 VR	9	L	d 5	45	85	52,9	11	24,4	ggr. rau +-- ; 1 hgr., 3 mgr., 1 ggr. AS; 8 Ansätze zu Spangen; Hufrand leicht unruhig
		R	d 2	42	82	51,2	7	16,7	ggr.-mgr. rau +(+)- ; 3 hgr., 1 mgr., 2 ggr. AS; 11 Ansätze zu Spangen; Hufrand leicht unruhig
404 VL	9	L	d 4	44	88	50,0	6	13,6	ggr.-mgr. rau +-- ; 5 hgr., 2 mgr. AS; 10 Ansätze zu Spangen; Hufrand leicht unruhig
		R	d 3	47	89	52,8	12	25,5	mgr. rau +-- ; 4 hgr., 2 mgr., 2 ggr. AS; 15 Ansätze zu Spangen; Hufrand leicht unruhig

Tab. 13 zeigt die Ergebnisse der pathologisch-anatomischen Untersuchung des Versuchspferdes mit der Nummer 404, einer 9-jährigen Englisch Vollblut-Stute. Die dort ermittelten Ergebnisse wurden anhand der Bewertungsschemata, welche bereits unter 2.3. *Ergebnisse* erläutert wurden, erfasst, woraus sich dann der Score wie in Tab. 14 gezeigt, berechnen lässt.

Tabelle 14: Score-Berechnung des Pferdes 404 (Stute, 9 Jahre) aufgrund der Ergebnisse der pathologisch-anatomischen Untersuchung

Identifikationsnummer	Alter in Jahren	Geschlecht	Sulcustiefe mediale linkes Hufbein	Sulcustiefe laterale linkes Hufbein	Sulcustiefe linkes Hufbein gesamt	Sulcustiefe mediale rechtes Hufbein	Sulcustiefe laterale rechtes Hufbein	Sulcustiefe rechtes Hufbein gesamt	Sulcustiefe gesamt
404	9	Stute	4	3	7	2	5	7	14

Rauigkeit mediale linkes Hufbein	Rauigkeit laterale linkes Hufbein	Rauigkeit linkes Hufbein	Rauigkeit mediale rechtes Hufbein	Rauigkeit laterale rechtes Hufbein	Rauigkeit rechtes Hufbein	Rauigkeit gesamt
4	3	7	2	3	5	12

Überbauung mediale linkes Hufbein	Überbauung laterale linkes Hufbein	Überbauung linkes Hufbein	Überbauung mediale rechtes Hufbein	Überbauung laterale rechtes Hufbein	Überbauung rechtes Hufbein	Überbauung gesamt
6	5	11	4	6	10	21

Alternativsulci mediale linkes Hufbein	Alternativsulci laterale linkes Hufbein	Alternativsulci linkes Hufbein	Alternativsulci mediale rechtes Hufbein	Alternativsulci laterale rechtes Hufbein	Alternativsulci rechtes Hufbein	Alternativsulci gesamt	Gesamt-Score
6	5	11	4	5	9	20	67

Sowohl die Beschreibung der pathologisch-anatomischen Untersuchung wie in Tab. 13, als auch die Score-Berechnung wie in Tab. 14 wurden für jedes Pferd der Versuchsreihen ab dem Alter von 2 Jahren durchgeführt. Der Score wurde dann für die statistische Auswertung der gesamten Untersuchungsergebnisse herangezogen.

Im Rahmen der Versuchsreihe III wurden die Hufbeine von 16 Englischen Vollblütern pathologisch-anatomisch untersucht. Davon waren neun Stuten, sieben Hengste und kein Wallach, im Alter von zwei bis sechs Jahren. Auch diese Hufbeine wurden entsprechend dem entwickelten Schema vermessen und bewertet. Die Ergebnisse bestätigten die der vorangegangenen beiden Versuchsreihen. Auch hier zeigten sich die Veränderungen zunehmend mit dem Alter der Pferde deutlicher. Da jedoch in Versuchsreihe III keine Pferde mit vorberichtlicher Hufrehe-Erkrankung enthalten waren, war eine weitere Versuchsreihe zur genaueren Untersuchung der Veränderungen am Hufbein im Zusammenhang mit dem Auftreten der Hufrehe-Erkrankung erforderlich. Deshalb wurden Versuchsreihe IV und V vorgenommen.

Versuchsreihe IV umfasste neun Pferde, darunter sechs Stuten, ein Hengst und zwei Wallache. Die Pferde waren im Alter von drei bis 15 Jahren. Es waren acht von ihnen vorberichtlich an Hufrehe erkrankt bzw. Hufrehe-bedingt euthanasiert worden, eine Stute im Alter von 15 Jahren starb an einer anderen Todesursache und wurde dementsprechend der Vergleichsgruppe zugeordnet.

Wiederum wurden die Hufbeine der Vordergliedmaßen der Pferde der pathologisch-anatomischen Untersuchung unterzogen und anhand des Score-Systems bewertet. Es zeigten sich dabei deutliche knöcherne Veränderungen an den Hufbeinen, vor allem der acht an Hufrehe erkrankten Pferde. Obwohl das einzige vorberichtlich nicht an Hufrehe erkrankte Pferd mit der Nummer 445 mit 15 Jahren das älteste dieser Versuchsreihe war, zeigten sich die Veränderungen an dessen Hufbeinen nicht so gravierend als an denen der anderen Pferde. Die acht an Hufrehe erkrankten Pferde waren zur Zeit der Euthanasie drei bis 13 Jahre alt.

Die letzte durchgeführte Versuchsreihe V umfasste fünf Englisch Vollblut Pferde, welche alle vorberichtlich an Hufrehe erkrankt waren. Darunter befanden sich drei Stuten im Alter von zwei, elf und 16 Jahren und zwei Wallache im Alter von 3 und acht Jahren. Auch die Hufbeine dieser Vordergliedmaßen wurden nach demselben Schema beurteilt und bewertet. Die Ergebnisse der pathologisch-anatomischen Untersuchung bezüglich der knöchernen Veränderungen am Hufbein bestätigten auch in dieser Versuchsreihe die der vorhergegangenen

Untersuchungsreihen – eine Zunahme der knöchernen Veränderungen am Hufbein mit dem höheren Alter der Pferde und darüber hinaus deutlichere knöcherne Veränderungen am Hufbein bei den Pferden der Versuchsgruppe als bei denen der nicht an Hufrehe erkrankten Pferden.

2. Ergebnisse der röntgenologischen Untersuchung

In der ersten Versuchsreihe wurden Röntgenaufnahmen der abgetrennten Vorder- und Hintergliedmaßen aller fünf Pferde durchgeführt. Die verschiedenen Aufnahmen umfassten jeweils eine 0°- und eine 90°- Aufnahme, also eine dorsopalmare bzw. dorsoplantare und eine lateromediale Projektion, da diese auch die Standardröntgenaufnahmen im Rahmen einer Hufrehe-Untersuchung bei einem lebenden Pferd darstellen (LITTLE und SCHRAMME, 2009; TAYLOR und HILLYER, 2004; REDDEN, 2009; O'GRADY und PARKS, 2008).

Nach der Betrachtung dieser Aufnahmen zeigte sich, dass bei dieser röntgenologischen Untersuchung an besagten Präparaten die Auswertung der Präparate nicht immer mit den Standards von lebenden Tieren übereinstimmte. Durch die bereits nach dem Tod des Tieres eingesetzten und während der Lagerung stattgefundenen Abbauprozesse verschiedener Gewebe, zum Beispiel Muskulatur, Sehnen und Bänder, waren auf dem Röntgenbild Veränderungen sichtbar, die in diesen Prozessen begründet lagen. Es waren dabei Gewebslücken entstanden, vor allem zwischen der Hufkapsel und dem Hufbein, welche auf dem Röntgenbild als gasgefüllte Bereiche deutlich zu sehen waren. Da es sich um Präparate und nicht um lebende Tiere handelte, herrschten außerdem keine physiologischen Zug- und Druckbelastungen am Hufbein. So fehlte der Zug der tiefen Beugesehne am Hufbein, wodurch im Zusammenspiel mit verwesungsbedingten Auflösungsprozessen der Verbindung der Hufbeinoberfläche mit der Hufkapsel die Lage der Strukturen innerhalb der Hufkapsel beeinflusst wurde. Dies gilt im Besonderen für die Lage des Hufbeins. Auf den meisten Röntgenbildern zeigte sich auf der lateromedialen Aufnahme eine deutliche Lageveränderung des Hufbeins, welche aber aufgrund der eben erläuterten Gründe nicht fälschlicherweise bei jedem Pferd als Hinweis auf eine Hufrehe-Erkrankung ausgelegt werden darf.

Aufgrund dieser Zwischenergebnisse wurde für alle Versuchsreihen die Entscheidung, ob ein Pferd der Vergleichsgruppe oder der Hufrehe-Gruppe zugeteilt wurde, nicht aufgrund der Interpretation der Röntgenaufnahmen, sondern aufgrund des Vorberichts oder eindeutigen, offensichtlichen Hinweisen am Huf selbst (deutliche Reheringe oder Hufbein-Durchbruch durch die Sohle) getroffen. Es ließen sich jedoch durchaus wertvolle Erkenntnisse aus der Auswertung der röntgenologischen Untersuchung bezüglich der Knochenveränderungen am

Hufbein gewinnen. So konnte man auf den 0°-Aufnahmen die Öffnung der Inc. processus palmaris bzw. das For. processus palmaris beurteilen und auch eine evtl. vorliegende knöcherne Spangenbildung an diesen Stellen konnte erfasst werden. Auf der 90°-Aufnahme wiederum konnte man in ausgeprägten Fällen die Rauigkeit der Hufbeinoberfläche erkennen. Im Folgenden sollen anhand ausgewählter Fälle der Versuchsreihe I die Ergebnisse der röntgenologischen Untersuchung exemplarisch erläutert werden.



Abbildung 18: 0°-Röntgenaufnahme des Hufbeins der linken Vordergliedmaße des Pferdes mit Untersuchungsnummer 12P426 (Stute, 18 Jahre)

Abb. 18 zeigt die 0°-Röntgenaufnahme der 18-jährigen Stute aus Versuchsreihe I, welche vorberichtlich an Hufrehe erkrankt war. Deutlich erkennbar sind beidseits die Forr. incisurae laterales (durch Pfeile gekennzeichnet). Durch die angebrachte Röntgen-Skala sind evtl. nachträglich benötigte Abmessungen anhand der Aufnahme möglich. Zwischen Hufbein und Hufsohle lassen sich die bereits erwähnten verwesungsbedingten Gaseinschlüsse und Zersetzungsfolgen erkennen. Diese sind verstärkt in Abb. 19 zu sehen. Es handelt sich um die rechte Vordergliedmaße desselben Tieres in der 90°-Projektion. Die dorsale Hufwand, proximal der Ballenregion und auch die Hufsohle zeigen besagte verwesungsbedingte Veränderungen. Die dorsale Hufbeinwand ist deutlich konkav gewölbt und es sind Knochenreaktionen an der Hufbeinwand- und -spitze ersichtlich. Diese Beobachtungen sprechen für eine vorangegangene Hufrehe-Erkrankung und bestätigen so den Vorbericht dieses Pferdes.

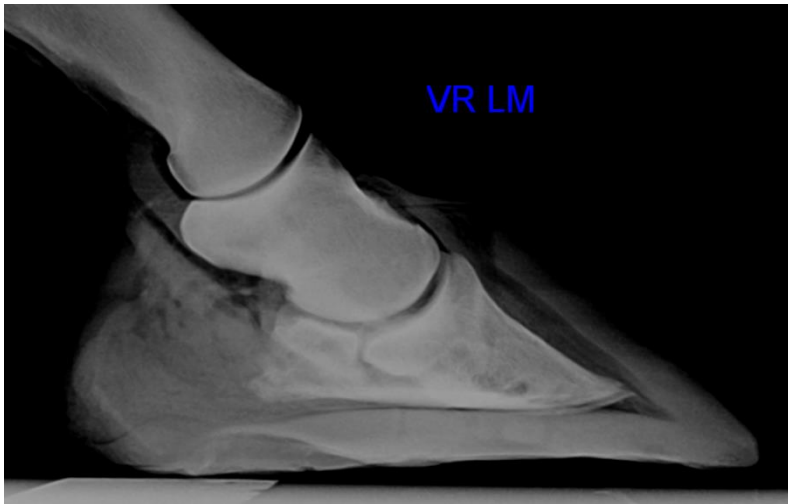


Abbildung 19: 90°-Röntgenaufnahme des Hufbeins der rechten Vordergliedmaße des Pferdes mit Untersuchungsnummer 12P426 (Stute, 18 Jahre)

Für die folgenden Versuchsreihen, in denen Röntgenaufnahmen getätigt wurden, wurden weitere zusätzliche Projektionen eingeführt, um den Verlauf des Sulcus parietalis medialis bzw. lateralis beurteilen zu können und nicht nur seinen Anfang an dem For. processus parietalis bzw. Inc. processus parietalis. In Versuchsreihe III folgten deshalb zusätzlich noch die Projektionen 35° und 325°. In den Versuchsreihen IV und V kamen noch die Projektionen 70° und 290° dazu. Aufgrund der verschiedenen Projektionswinkel ist der Verlauf des Sulcus parietalis medialis bzw. lateralis deutlich besser verfolgbar.

Dies soll anhand der Abbildungen 20 bis 25 exemplarisch verdeutlicht werden. Dort sind die nach dem in *III. Material und Methoden und Zwischenergebnisse* erwähnten Schema durchgeführten Röntgenaufnahmen der linken Vordergliedmaße des Pferdes 14P46 gezeigt. Bei diesem Tier handelte es sich um eine 16-jährige Stute, die vorberichtlich an Hufrehe erkrankt war. Sie ist deshalb Teil der Versuchsgruppe der Versuchsreihe V. Der Bereich des For. processus parietalis bzw. des Sulcus parietalis medialis bzw. lateralis ist jeweils mit Pfeilen markiert.

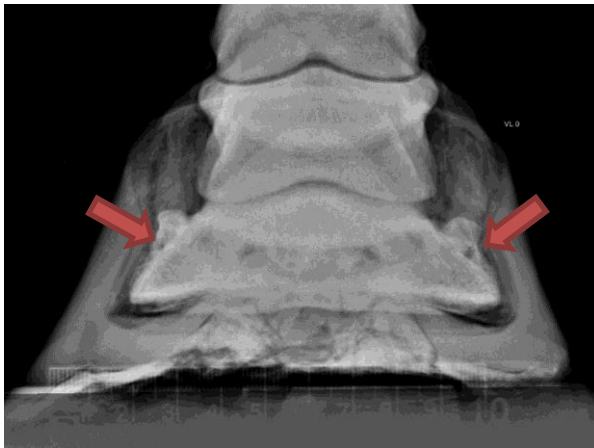


Abbildung 20: 0°-Röntgenaufnahme des Hufbeins der linken Vordergliedmaße des Pferdes mit Untersuchungsnummer 12P46 (Stute, 16 Jahre)

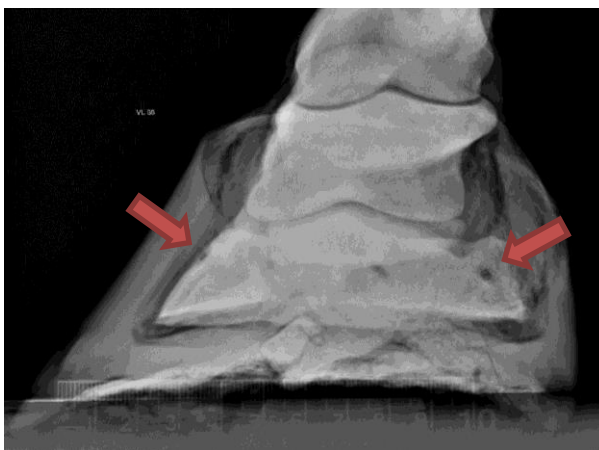


Abbildung 21: 35°-Röntgenaufnahme des Hufbeins der linken Vordergliedmaße des Pferdes mit Untersuchungsnummer 12P46 (Stute, 16 Jahre)



Abbildung 22: 70°-Röntgenaufnahme des Hufbeins der linken Vordergliedmaße des Pferdes mit Untersuchungsnummer 12P46 (Stute, 16 Jahre)

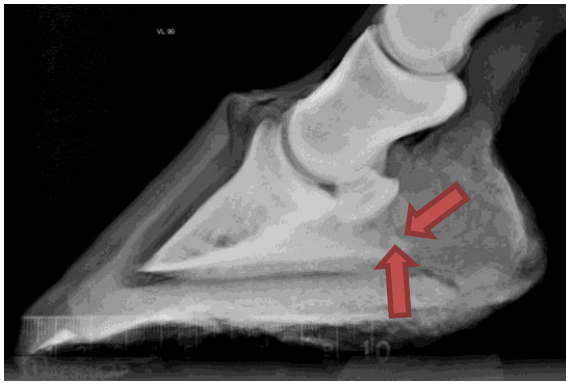


Abbildung 23: 90°-Röntgenaufnahme des Hufbeins der linken Vordergliedmaße des Pferdes mit Untersuchungsnummer 12P46 (Stute, 16 Jahre)



Abbildung 24: 290°-Röntgenaufnahme des Hufbeins der linken Vordergliedmaße des Pferdes mit Untersuchungsnummer 12P46 (Stute, 16 Jahre)

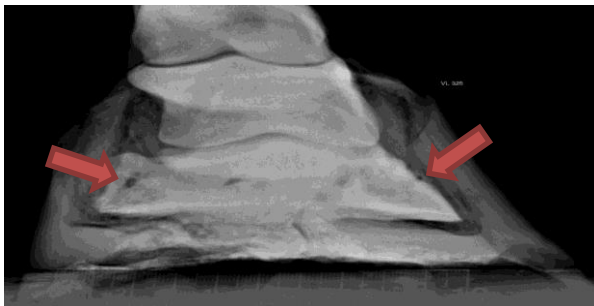


Abbildung 25: 325°-Röntgenaufnahme des Hufbeins der linken Vordergliedmaße des Pferdes mit Untersuchungsnummer 12P46 (Stute, 16 Jahre)

Wie in den Abbildungen 20 bis 25 ersichtlich ist, wird der Sulcus parietalis medialis bzw. lateralis und mögliche Überbauung/Spangen durch die unterschiedlichen Projektionswinkel aufgezeigt. Weiterhin sind Knochenreaktionen an der Hufbeinoberfläche zu sehen, vor allem an der

proximalen Hufbeinregion und an der Hufbeinspitze. Die eben gezeigten Aufnahmen sollen als Beispiel für die anderen Gliedmaßen-Präparate dienen. Auch die Auswertung der anderen Röntgenaufnahmen wiesen entsprechende Ergebnisse auf, also eine gute Darstellbarkeit der Inc. processus parietalis bzw. des For. processus parietalis und von ggf. vorhandenen Knochenspangen am Sulcus parietalis medialis bzw. lateralis und Knochenreaktionen an der Hufbeinoberfläche. Bei einigen der Hufrehe-Pferde der Versuchsreihe zeigte sich darüber hinaus noch eine konkave Wölbung der Hufbeinwand und der Hufbeinspitze.

3. Ergebnisse der statistischen Auswertung

Die untersuchten vorberichtlich nicht an Hufrehe erkrankten Pferde der Versuchsreihen I bis IV dienten der Erforschung von möglicherweise stattfindenden altersbedingten physiologischen Umbauprozessen am Hufbein und die Entwicklung eines möglichst objektiven Beschreibungs- und Bewertungssystems. Die Pferde der Versuchsreihen, die vorberichtlich an Hufrehe erkrankt waren, wurden weiterhin auf einen möglichen Zusammenhang zwischen einer von der rein altersphysiologischen Entwicklung unabhängigen Verstärkung dieser Knochenveränderungen am Hufbein im Zusammenhang mit dem Auftreten einer Hufrehe-Erkrankung untersucht. Tab. 15 zeigt die Verteilung der Pferde bezüglich Alter und Geschlecht und weiterhin darunter die Tiere, die vorberichtlich an Hufrehe erkrankt waren.

Tabelle 15: Alters- und Geschlechtsverteilung der Versuchsreihen gesamt

Geschlecht/Alter	Stute	Hengst	Wallach	gesamt	vorberichtlich Hufrehe
2	2	2	0	4	1 (Stute)
3	3	1	1	5	3 (1 Stute+1 Hengst+1 Wallach)
4	2	0	0	2	1 (Stute)
5	4	1	0	5	2 (Stuten)
6	2	0	0	2	1 (Stute)
7	1	0	1	2	1 (Wallach)
8	1	1	2	4	1 (Wallach)
9	2	0	1	3	1 (Stute)
10	2	0	2	4	
11	3	0	0	3	2 (Stuten)
12	0	0	0	0	
13	2	0	1	3	1 (Wallach)
14	4	0	0	4	
15	1	0	0	1	
16	2	0	0	2	1 (Stute)
17	1	0	0	1	1 (Stute)
18	3	0	0	3	1 (Stute)
19	0	0	0	0	
20	0	1	0	1	
21	1	0	0	1	
Gesamt	36	6	8	50	17 (12 Stuten + 4 Wallache + 1 Hengst)

In Tab. 16 sind die Zahlen der geschlechterspezifischen Anteile innerhalb der Versuchsgruppe und Vergleichsgruppe aufgelistet. Auffällig ist der hohe Anteil an Stuten innerhalb der Versuchsgruppe, nämlich ca. 71% (von 17). Da jedoch auch der Anteil der Stuten bezogen auf die Gesamtanzahl - Versuchsgruppe und Vergleichsgruppe zusammengefasst - hoch ist, nämlich 72% (von 50), relativiert

sich das Ergebnis. Bei den Wallachen war der Anteil an der Gesamtzahl der Pferde 16% (von 50) und der innerhalb der Hufrehe-Gruppe ca. 24% (von 17). Bei den Hengsten waren die entsprechenden Anteile 12% (von 50) bzw. ca. 6% (von 17).

Tabelle 16: Übersicht der geschlechterspezifischen Anteile an den Gesamtanteilen

Geschlecht	Stute	Wallach	Hengst	Gesamt
ohne Hufrehe	24	4	5	33
mit Hufrehe	12	4	1	17
Gesamt	36	8	6	50

Abb. 26 verdeutlicht die eben erwähnten Anteile der Geschlechter an den verschiedenen Gruppen.

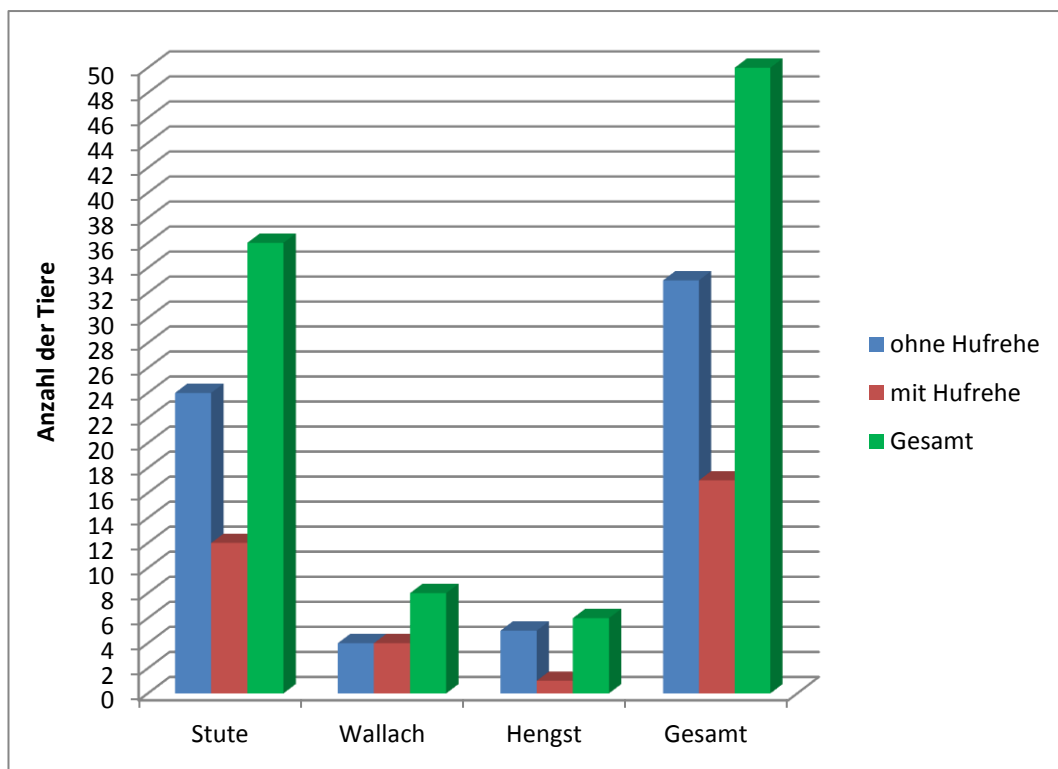


Abbildung 26: Graphische Darstellung der geschlechterspezifischen Anteile an den Gesamtanteilen

Aus bereits genannten Gründen wurden für die statistische Auswertung, außer bei Abb. 28, nur die Pferde ab einem Alter von 2 Jahren herangezogen. Dort wurden die Pferde unter zwei Jahre begutachtet, um einen Vergleichswerte von den

Hufbeinen der Pferde zu bekommen, die noch nicht unter oder am Beginn der Trainingsbelastung stehen.

Tabelle 17: Statistische Ergebnisse des Kriteriums Sulcustiefe

Vergleich Sulcustiefe medial und Sulcustiefe lateral linkes Hufbein	Vergleich Sulcustiefe medial und Sulcustiefe lateral rechtes Hufbein	Vergleich Sulcustiefe linkes und Sulcustiefe rechtes Hufbein
0,067	0,897	0,796

Tabelle 18: Ergebnis t-Test (zweiseitig gepaart) des Kriteriums Sulcustiefe

Sulcustiefe medial linkes Hufbein Mittelwert	2,606	Sulcustiefe medial rechtes Hufbein Mittelwert	2,424	Sulcustiefe linkes Hufbein Mittelwert	4,909
Sulcustiefe medial linkes Hufbein Standardabweichung	1,059	Sulcustiefe medial rechtes Hufbein Standardabweichung	1,226	Sulcustiefe linkes Hufbein Standardabweichung	1,860
Sulcustiefe lateral linkes Hufbein Mittelwert	2,303	Sulcustiefe lateral rechtes Hufbein Mittelwert	2,394	Sulcustiefe rechtes Hufbein Mittelwert	4,818
Sulcustiefe lateral linkes Hufbein Standardabweichung	1,015	Sulcustiefe lateral rechtes Hufbein Standardabweichung	1,144	Sulcustiefe rechtes Hufbein Standardabweichung	1,960
Effektgröße	0,29	Effektgröße	0,03	Effektgröße	0,05
Absolute Differenz	0,303	Absolute Differenz	0,030	Absolute Differenz	0,091
Relative Differenz	13,158	Relative Differenz	1,266	Relative Differenz	1,887

Die jeweiligen Effektgrößen weisen beim Kriterium Sulcustiefe jeweils einen Wert von weniger als 0,3 auf, womit von keinem Effekt bei der unterschiedlichen Gliedmaßenseite links oder rechts oder der Medial- oder Lateralseite auszugehen ist. Dies deckt sich ebenfalls mit den Ergebnissen des zweiseitigen, gepaarten t-Tests, denn da die p-Werte jeweils größer als 0,05 sind, ist von keinem signifikanten Zusammenhang zwischen der jeweiligen Gliedmaßenseite (sowohl rechts-links, als auch medial-lateral) und der Sulcustiefe auszugehen.

Tabelle 19: Statistische Ergebnisse des Kriteriums Rauigkeit

Rauigkeit medial linkes Hufbein Mittelwert	2,697	Rauigkeit medialis rechtes Hufbein Mittelwert	2,576	Rauigkeit linkes Hufbein Mittelwert	5,485
Rauigkeit medial linkes Hufbein Standardabweichung	1,104	Rauigkeit medial rechtes Hufbein Standardabweichung	0,969	Rauigkeit linkes Hufbein Standardabweichung	2,048
Rauigkeit lateral linkes Hufbein Mittelwert	2,788	Rauigkeit lateral rechtes Hufbein Mittelwert	2,939	Rauigkeit rechtes Hufbein Mittelwert	5,515
Rauigkeit lateral linkes Hufbein Standardabweichung	1,023	Rauigkeit lateral rechtes Hufbein Standardabweichung	1,088	Rauigkeit rechtes Hufbein Standardabweichung	1,955
Effektgröße	0,09	Effektgröße	0,35	Effektgröße	0,02
Absolute Differenz	0,091	Absolute Differenz	0,364	Absolute Differenz	0,030
Relative Differenz	3,371	Relative Differenz	14,118	Relative Differenz	0,552

Tabelle 20: Ergebnis t-Test (zweiseitig gepaart) des Kriteriums Rauigkeit

Vergleich Rauigkeit medial und lateral linkes Hufbein	Vergleich Rauigkeit medial und lateral rechtes Hufbein	Vergleich Rauigkeit linkes und rechtes Hufbein
0,374	0,003	0,856

Die jeweiligen Effektgrößen zeigen beim Kriterium Rauigkeit beim linken Hufbein bezüglich medial-lateral und bezüglich linkem-rechtem Hufbein einen Wert von deutlich unter 0,3 auf, womit von keinem Effekt bei der unterschiedlichen Gliedmaßenseite (links oder rechts) oder bezüglich der Medial- oder Lateralseite auszugehen ist. Beim rechten Hufbein zeigt sich bezüglich medial-lateral mit einem Wert der Effektgröße von 0,35 eine äußerst schwacher bis kein Zusammenhang.

Dies spiegelt sich bei den Ergebnissen des zweiseitigen, gepaarten t-Tests wieder, wo die p-Werte des linken Hufbeins bezüglich medial-lateral und bezüglich linkem-rechtem Hufbein jeweils deutlich größer als 0,05 sind. Damit ist von keinem signifikanten Zusammenhang zwischen der jeweiligen Gliedmaßenseite, sowohl rechts-links, als auch medial-lateral des linken Hufbeins und der Rauigkeit auszugehen. Beim t-Test für medial-lateral des rechten Hufbeins konnte wiederum ein schwacher Zusammenhang bei einem p-Wert von ca. 0,003 festgestellt werden. Mit einer recht kleinen Anzahl, $n=33$ (Tiere der Vergleichsgruppe mit über zwei Jahren), ist in diesem Falle jedoch die Effektgröße als aussagekräftiger zu bewerten und da diese nur einen äußerst schwachen Zusammenhang nahelegt, ist der Einfluss bezüglich medial-lateral auch beim rechten Hufbein vernachlässigbar.

Tabelle 21: Statistische Ergebnisse des Kriteriums Überbauung

Überbauung medial linkes Hufbein Mittelwert	2,879	Überbauung medial rechtes Hufbein Mittelwert	2,879	Überbauung linkes Hufbein Mittelwert	5,636
Überbauung medial linkes Hufbein Standardabweichung	2,758	Überbauung medial rechtes Hufbein Standardabweichung	1,556	Überbauung linkes Hufbein Standardabweichung	2,620
Überbauung lateral linkes Hufbein Mittelwert	2,758	Überbauung lateral rechtes Hufbein Mittelwert	2,515	Überbauung rechtes Hufbein Mittelwert	5,394
Überbauung lateral linkes Hufbein Standardabweichung	2,758	Überbauung lateral rechtes Hufbein Standardabweichung	1,503	Überbauung rechtes Hufbein Standardabweichung	2,633
Effektgröße	0,04	Effektgröße	0,24	Effektgröße	0,09
absolute Differenz	0,121	Absolute Differenz	0,364	Absolute Differenz	0,242
relative Differenz	4,396	Relative Differenz	14,458	Relative Differenz	4,494

Tabelle 22: Ergebnis t-Test (zweiseitig gepaart) des Kriteriums Überbauung

Vergleich Überbauung medial und lateral linkes Hufbein	Vergleich Überbauung medial und lateral rechtes Hufbein	Vergleich Überbauung linkes und Überbauung rechtes Hufbein
0,587	0,189	0,454

Die jeweiligen Effektgrößen weisen beim Kriterium Überbauung jeweils einen Wert von weniger als 0,3 auf, womit von keinem Effekt bei der unterschiedlichen Gliedmaßenseite links oder rechts oder bezüglich der Medial- oder Lateralseite auszugehen ist. Dies deckt sich ebenfalls mit den Ergebnissen des zweiseitigen, gepaarten t-Tests, denn da die p-Werte jeweils deutlich größer als 0,05 sind, ist von keinem signifikanten Zusammenhang zwischen der jeweiligen Gliedmaßenseite (sowohl rechts-links, als auch medial-lateral) und der Überbauung auszugehen.

Tabelle 23: Statistische Ergebnisse des Kriteriums Alternativsulcus/-ci

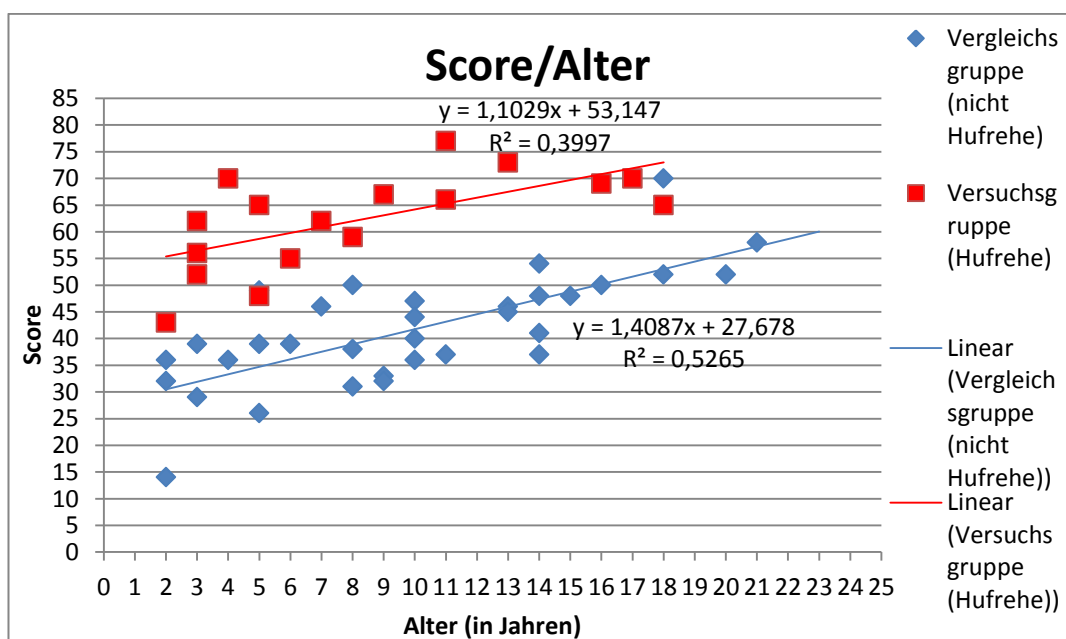
Alternativsulcus/-ci medial linkes Hufbein Mittelwert	2,697	Alternativsulcus/-ci medial rechtes Hufbein Mittelwert	2,576	Rauigkeit linkes Hufbein Mittelwert	5,485
Alternativsulcus/-ci medial linkes Hufbein Standardabweichung	1,104	Alternativsulcus/-ci medial rechtes Hufbein Standardabweichung	0,969	Rauigkeit linkes Hufbein Standardabweichung	2,048
Alternativsulcus/-ci lateral linkes Hufbein Mittelwert	2,788	Alternativsulcus/-ci lateral rechtes Hufbein Mittelwert	2,939	Rauigkeit rechtes Hufbein Mittelwert	5,515
Alternativsulcus/-ci lateral linkes Hufbein Standardabweichung	1,023	Rauigkeit lateral rechtes Hufbein Standardabweichung	1,088	Rauigkeit rechtes Hufbein Standardabweichung	1,955
Effektgröße	0,1	Effektgröße	0,4	Effektgröße	0,0
Absolute Differenz	0,091	Absolute Differenz	0,364	Absolute Differenz	0,030
Relative Differenz	3,371	Relative Differenz	14,118	Relative Differenz	0,552

Tabelle 24: Ergebnis t-Test (zweiseitig gepaart) des Kriteriums Alternativsulcus/-ci

Vergleich Alternativsulcus/-ci medial und lateral linkes Hufbein	Vergleich Alternativsulcus/-ci medial und lateral rechtes Hufbein	Vergleich Alternativsulcus linkes und Alternativsulcus rechtes Hufbein
0,813	0,598	0,712

Die jeweiligen Effektgrößen weisen beim Kriterium Alternativsulcus/-ci jeweils einen Wert von weniger als 0,3 auf, womit von keinem Effekt bei der unterschiedlichen Gliedmaßenseite links oder rechts oder bezüglich der Medial- oder Lateralseite auszugehen ist. Dies deckt sich ebenfalls mit den Ergebnissen des zweiseitigen, gepaarten t-Tests, denn da die p-Werte jeweils deutlich größer als 0,05 sind, ist von keinem signifikanten Zusammenhang zwischen der jeweiligen Gliedmaßenseite (sowohl rechts-links, als auch medial-lateral) und dem Kriterium Alternativsulcus/-ci auszugehen.

Aufgrund oben genannter statistischer Ergebnisse zeigte sich kein signifikanter Unterschied im Auftreten der Knochenumbauvorgängen am Hufbein bezüglich der einzelnen Gliedmaßen- oder Hufbeinseiten. Deshalb wurden im weiteren Verlauf die Score-Werte der Medial- und Lateralseite der jeweils linken und rechten Vordergliedmaße jedes Pferdes zu einem Gesamtwert addiert und diese Scores für die weitere Auswertung herangezogen.

**Abbildung 27: Graphische Darstellung des Scores der Tiere der Versuchs- und Vergleichsgruppe in Abhängigkeit vom Alter**

Aus Abb. 27 geht deutlich hervor, dass der Score mit dem Alter der Pferde ansteigt. Weiterhin zeigen sich rein über den altersbedingten Anstieg des Score-Wertes hinaus massiv höhere Werte bei den Pferden, welche vorberichtlich an Hufrehe erkrankt waren und somit die Versuchsgruppe bildeten. Es ist also eine übergeordnete Korrelation zwischen dem Alter und dem Score im Zusammenhang mit einer Hufrehe-Erkrankung zu sehen.

Das Bestimmtheitsmaß für die Funktion der Werte der Versuchsgruppe beträgt $R^2=0,3997$, das der Vergleichsgruppe $R^2=0,5265$. Die entsprechenden Korrelationskoeffizienten betragen demnach für die Versuchsgruppe $R=0,6322$ bzw. $R=0,7256$ für die Vergleichsgruppe. Der Korrelationskoeffizient umfasst grundsätzlich das Intervall von minus eins bis plus eins. Dabei bedeutet ein Korrelationskoeffizient gleich null, dass die untersuchten Variablen voneinander unabhängig sind, ein negativer Korrelationskoeffizient, dass durch Zunahme der einen betrachteten Variable, die andere abnimmt. Ein positiver Korrelationskoeffizient wiederum heißt, dass beide Variablen wachsen. Es handelt sich dabei um stochastische Zusammenhänge, die die Interpretation von Untersuchungsergebnissen erleichtern. Da die in Abb. 27 ermittelten Korrelationskoeffizienten sowohl der Vergleichs-, als auch der Versuchsgruppe deutlich positiv sind, kann man auf einen Zusammenhang zwischen einem steigenden Alter des Pferdes und höheren Score-Werten schließen. Diese Aussage wird ebenfalls durch die Betrachtung der Funktionen gestützt, welche beinahe dieselbe Steigung aufweisen, jedoch zeigt die Funktion der Hufrehe-Gruppe einen ca. doppelt so großen y-Achsenabschnitt wie die der Vergleichsgruppe. Durch die statistische Auswertung mittels des Programms BiAS Version 10.04 konnten die Regressionsgeraden verglichen werden. Es zeigte sich bei der Homogenität der Varianzen ein Wert von ca. $p=0,975$, bezüglich der Steigung ein Wert von ca. $p=0,474$ und bezüglich des Achsenabschnitts ein Wert von $p=0,000$. Da der p-Wert bezüglich des Achsenabschnitts deutlich unter 0,05 liegt, sind die beiden Regressionsgeraden signifikant verschieden. Aus der statistischen Auswertung der Daten bezüglich Alter, Score und Hufrehe folgt, dass beide Wertgruppen, sowohl die Vergleichs-, als auch die Versuchsgruppe, zwar in der gleichen Weise den Altersentwicklungen unterliegen, jedoch auf signifikant unterschiedlichem Niveau.

Der Vollständigkeit halber werden in Abb. 28 die Daten der Scores der

Vergleichsgruppe mit Tieren von mindestens zwei Jahren, der Versuchsgruppe und ausnahmsweise auch die der Tiere von unter 2 Jahren, gezeigt.

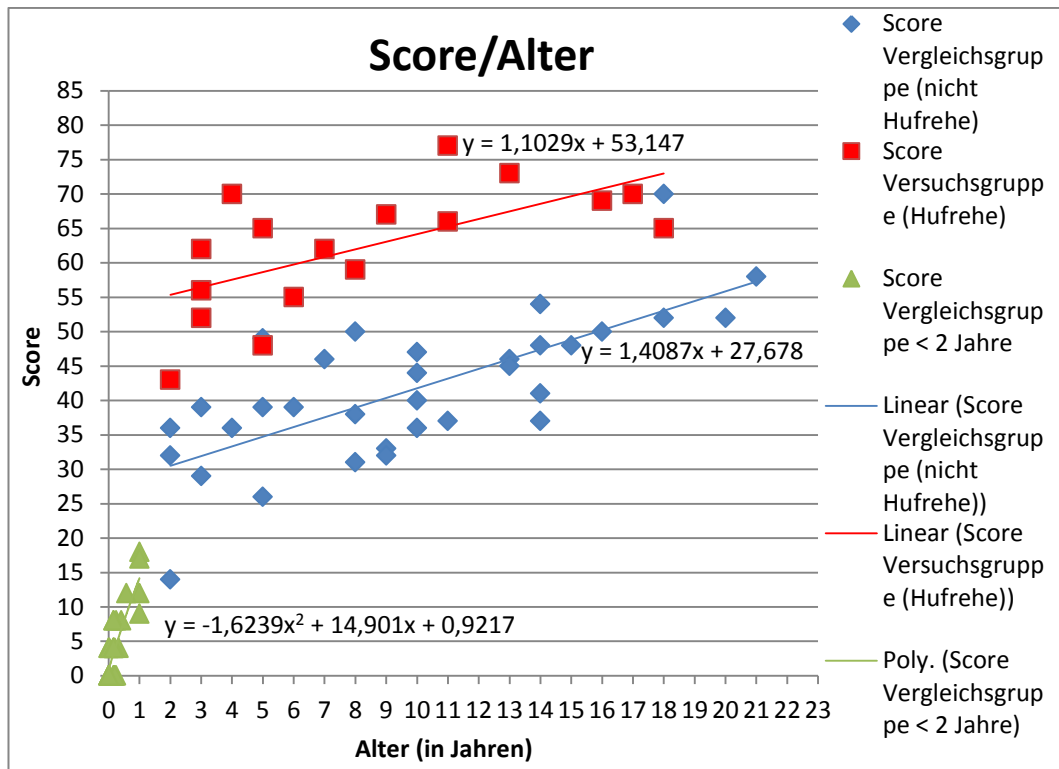


Abbildung 28: Graphische Darstellung des Scores der Tiere der Versuchs- und Vergleichsgruppe in Abhängigkeit vom Alter mit < 2-Jährigen

Wie daraus ersichtlich wird, findet eine starke Erhöhung des Scores innerhalb der ersten zwei Jahre statt. Die Zunahme des Scores in diesem Lebensalter war in erster Linie in der Zunahme der Rauigkeit der Hufbeinoberfläche begründet. Um die jeweils einzelnen Bewertungskriterien und deren Aussagekraft besser einschätzen zu können, wurden die Score-Ergebnisse jedes Bewertungskriteriums jedes Pferdes ebenfalls ins Verhältnis zum Alter gesetzt und getrennt nach Versuchs- und Vergleichsgruppe in den folgenden Abbildungen betrachtet.

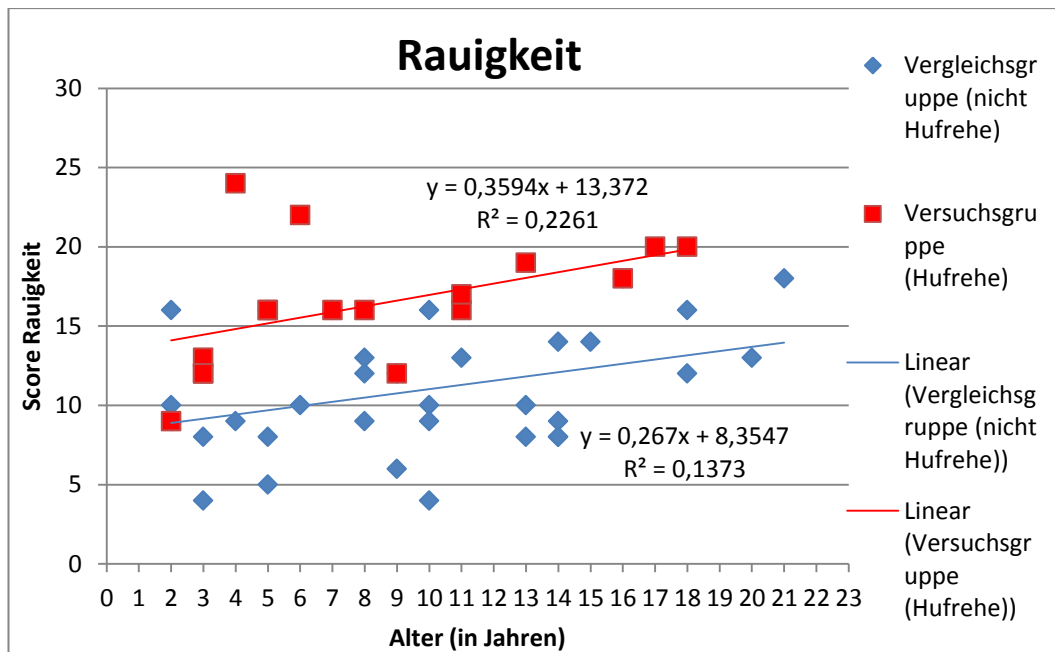


Abbildung 29: Graphische Darstellung des Scores des Bewertungskriteriums „Rauigkeit“ der Versuchs- und Vergleichsgruppe in Abhängigkeit vom Alter

Je größer die Rauigkeit der Hufbeinoberfläche, desto höher der Score für dieses Kriterium des jeweiligen Tieres. Beim Kriterium „Rauigkeit“ lässt sich in beiden Gruppen ein zunehmender Score mit höherem Alter feststellen, wobei sich wiederum, wie auch beim Gesamtscore in Abb. 27 eine übergeordnete Korrelation zwischen dem höheren Alter und der Versuchsgruppe (also der Hufrehe-Pferde) zeigt.

Das Bestimmtheitsmaß für die Funktion der Werte der Versuchsgruppe beträgt $R^2=0,2261$, das der Vergleichsgruppe $R^2=0,1373$. Die Korrelationskoeffizienten betragen dementsprechend für die Versuchsgruppe $R=0,4755$ und für die Vergleichsgruppe $R=0,3705$. Es besteht somit in beiden Gruppen eine positive Korrelation zwischen dem höheren Alter der Pferde und einer zunehmenden Rauigkeit der Hufbeinoberfläche, jedoch eine etwas stärkere in der Hufrehe-Gruppe. Diese Aussage wird ebenfalls durch die Betrachtung der Funktionen gestützt, wo die etwas steilere Steigung der Funktion der Hufrehe-Gruppe zu erkennen ist. Weiterhin zeigt die Funktion der Hufrehe-Gruppe einen deutlich größeren y-Achsenabschnitt wie die der Vergleichsgruppe. Durch die statistische Auswertung mittels des Programms BiAS Version 10.04 konnten die Regressionsgeraden verglichen werden. Es zeigte sich bei der Homogenität der Varianzen ein Wert von ca. $p=0,959$, bezüglich der Steigung ein Wert von ca.

$p=0,663$ und bezüglich des Achsenabschnitts ein Wert von ca. $p=0,000$. Da der p -Wert bezüglich des Achsenabschnitts deutlich unter 0,05 liegt, sind die beiden Regressionsgeraden signifikant verschieden. Aus der statistischen Auswertung der Daten bezüglich Alter, Score der Rauigkeit für gesunde Pferde und Hufrehe-Tiere folgt, dass beide Wertgruppen, sowohl die Vergleichs-, als auch die Versuchsgruppe, zwar einer gewissen Altersentwicklungen unterliegen, jedoch auf signifikant unterschiedlichem Niveau und die Versuchsgruppe etwas mehr als die Vergleichsgruppe.

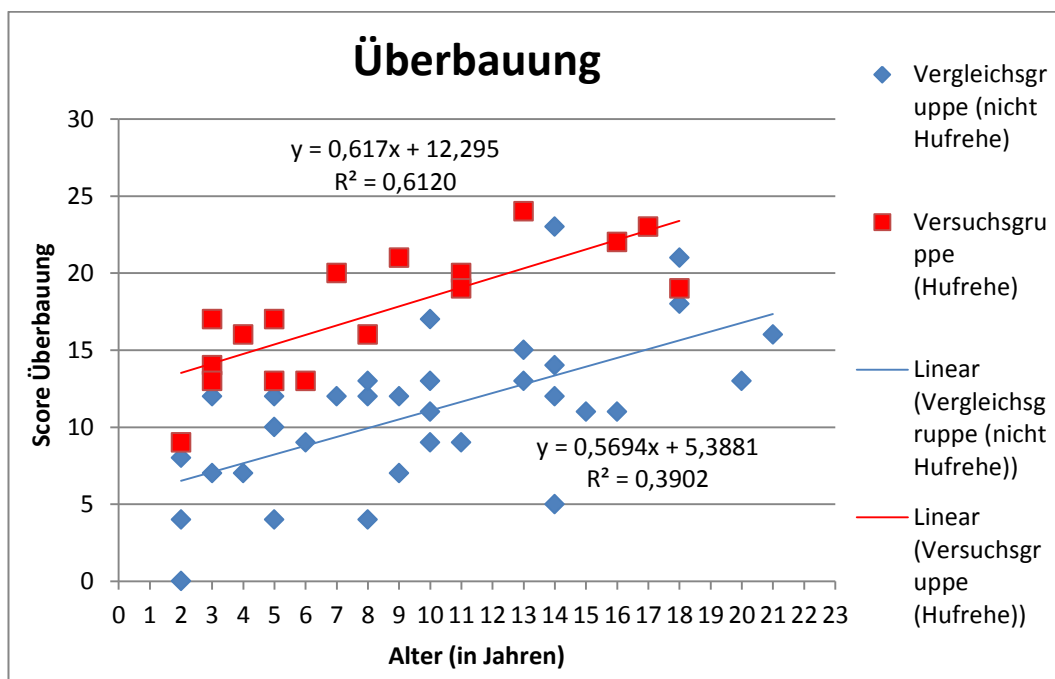


Abbildung 30: Graphische Darstellung des Scores des Bewertungskriteriums „Überbauung“ der Versuchs- und Vergleichsgruppe in Abhängigkeit vom Alter

Je größer der Anteil an überbautem Sulcus parietalis medialis bzw. lateralis bzw. je mehr Ansätze zu derartigen Überbauungen, desto höher ist der dafür berechnete Score laut Bewertungssystem. Auch beim Kriterium „Überbauung“ ist der jeweilige Score der beiden Gruppen mit höherem Alter größer. Die übergeordnete Korrelation beim Alter und der Versuchsgruppe über dem Zusammenhang zwischen Alter und Vergleichsgruppe wie beim Gesamtscore in Abb. 27 bestätigt sich auch in dieser Grafik.

Das Bestimmtheitsmaß für die Funktion der Werte der Versuchsgruppe beträgt

$R^2 = 0,6120$, das der Vergleichsgruppe $R^2 = 0,3902$. Der Korrelationskoeffizient für die Versuchsgruppe ist somit $R = 0,7833$, der der Vergleichsgruppe $R = 0,6247$. Da beide dieser Werte deutlich positiv sind, ist von einem starken Zusammenhang zwischen dem höheren Alter der Tiere und dem vermehrten Auftreten von Überbauungen des Sulcus parietalis medialis bzw. lateralis auszugehen. Dies wird ebenfalls durch die Betrachtung der Funktionen gestützt, welche fast dieselbe Steigung aufweisen, jedoch zeigt die Funktion der Hufrehe-Gruppe einen mehr als doppelt so großen y-Achsenabschnitt wie die der Vergleichsgruppe. Durch die statistische Auswertung mittels des Programms BiAS Version 10.04 konnten die Regressionsgeraden verglichen werden. Es zeigte sich bei der Homogenität der Varianzen ein Wert von ca. $p = 0,103$, bezüglich der Steigung ein Wert von ca. $p = 0,818$ und bezüglich des Achsenabschnitts ein Wert von ca. $p = 0,000$. Da der p-Wert bezüglich des Achsenabschnitts deutlich unter 0,05 liegt, sind die beiden Regressionsgeraden signifikant verschieden. Aus der statistischen Auswertung der Daten bezüglich Alter, Score der Überbauung für gesunde Pferde und Hufrehe-Tiere lässt sich schließen, dass beide Wertgruppen, sowohl die Vergleichs-, als auch die Versuchsgruppe, zwar in der beinahe gleichen Weise den Altersentwicklungen unterliegen, jedoch auf signifikant unterschiedlichem Niveau.

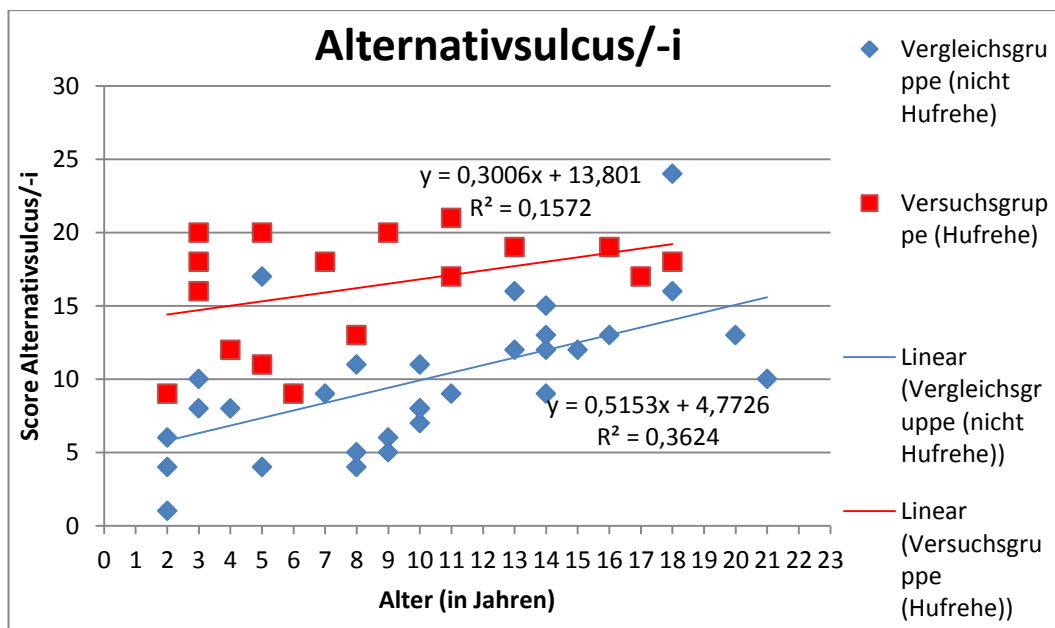


Abbildung 31: Graphische Darstellung des Scores des Bewertungskriteriums „Alternativsulcus/-ci“ der Versuchs- und Vergleichsgruppe in Abhängigkeit vom Alter

Je mehr und je tiefere Alternativsulci bei den Tieren vorliegen, desto größer der zugewiesene Score nach dem verwendeten Bewertungssystem. Beim vorliegenden Kriterium zeigten sich ebenfalls in beiden Gruppen mit höherem Alter der Tiere zunehmende Score-Werte. Die darüber hinausgehende übergeordnete Korrelation von Alter und Hufrehe zeigt sich auch beim Kriterium „Alternativsulcus/-ci“.

Das Bestimmtheitsmaß für die Funktion der Werte der Versuchsgruppe beträgt $R^2=0,1572$, das der Vergleichsgruppe $R^2=0,3624$. Daraus lassen sich die Werte $R=0,3965$ für den Korrelationskoeffizienten der Versuchsgruppe und $R=0,6020$ für den der Vergleichsgruppe ermitteln. Auch diese beiden Werte sind deutlich positiv, womit der Zusammenhang zwischen dem vermehrten Auftreten von Alternativsulci, deren größerer Tiefe und dem höheren Alter der Tiere bestätigt wird. Diese Aussage wird ebenfalls durch die Betrachtung der Funktionen gestützt, welche beide eine deutlich positive Steigung aufweisen, jedoch zeigt die Funktion der Hufrehe-Gruppe einen deutlich größeren y-Achsenabschnitt wie die der Vergleichsgruppe. Durch die statistische Auswertung mittels des Programms BiAS Version 10.04 konnten die Regressionsgeraden verglichen werden. Es zeigte sich bei der Homogenität der Varianzen ein Wert von ca. $p=0,952$, bezüglich der Steigung ein Wert von ca. $p=0,329$ und bezüglich des Achsenabschnitts ein Wert von ca. $p=0,000$. Da der p-Wert bezüglich des Achsenabschnitts deutlich unter 0,05 liegt, sind die beiden Regressionsgeraden signifikant verschieden. Aus der statistischen Auswertung der Daten bezüglich Alter, Score der Alternativsulci für gesunde Pferde und Hufrehe-Tiere folgt, dass beide Wertgruppen, sowohl die Vergleichs-, als auch die Versuchsgruppe, zwar in der gleichen Weise den Altersentwicklungen unterliegen, jedoch auf signifikant unterschiedlichem Niveau.

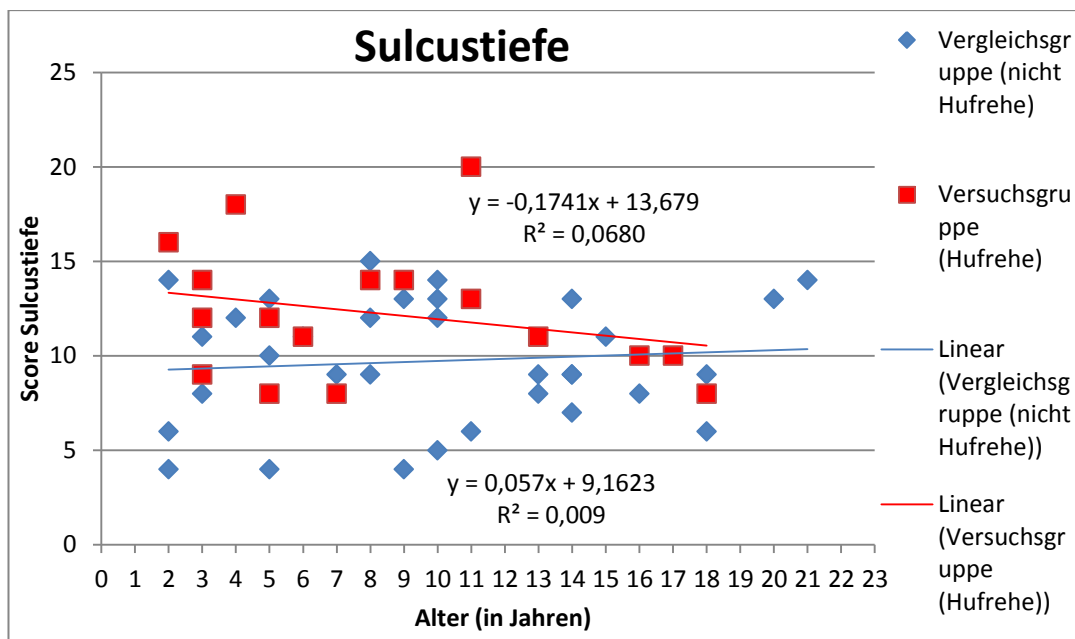


Abbildung 32: Graphische Darstellung des Scores des Bewertungskriteriums „Sulcustiefe“ der Versuchs- und Vergleichsgruppe in Abhängigkeit vom Alter

Ein höherer Score der Sulcustiefe bedeutet im verwendeten Bewertungssystem einen kleineren Durchmesser des For. processus parietalis medialis bzw. lateralis oder eine geringere Tiefe des Sulcus an der Inc. processus parietalis medialis bzw. lateralis. Im Gegensatz zu den anderen drei Bewertungskriterien ist bei der Grafik der „Sulcustiefe“ eine Auffälligkeit feststellbar. Das Bestimmtheitsmaß für die Versuchsgruppe beträgt $R^2=0,0680$, das der Vergleichsgruppe $R^2=0,009$. Der Korrelationskoeffizient für die Versuchsgruppe ist demnach $R= - 0,2608$, der der Vergleichsgruppe $R=0,0949$. Sowohl die Steigungen der beiden Regressionsgeraden als auch die jeweiligen y-Achsenabschnitte sind unterschiedlich, bezüglich der Homogenität der Varianzen ergibt sich ein Wert für p von ca. 0,758, für die Steigung ca. 0,240 und für den Achsenabschnitt ca. 0,018. Daraus ergibt sich zwar ein signifikanter Unterschied der beiden Regressionsgeraden, dass sich der Score bezüglich der Sulcustiefe am Hufbein beim vermehrten Auftreten von Hufrehe und höherem Alter aber erhöht, lässt sich nicht belegen. Denn obwohl bei der Vergleichsgruppe eine positive – wenn auch sehr schwache – Korrelation zwischen dem Alter und dem Score der Sulcustiefe erkennbar ist, ist sie bei der Vergleichsgruppe leicht negativ. Da es sich bei beiden Korrelationskoeffizienten um Werte handelt, die sehr wenig vom Wert null abweichen, ist von einer geringen Korrelation (weder positiv noch negativ)

zwischen der Sulcustiefe und dem steigenden Alter der Pferde auszugehen. Vor allem bei der Regressionsgeraden der Vergleichsgruppe wird der nur sehr geringe Effekt des Alters auf die Sulcustiefe deutlich, da die Gerade nahezu parallel zur x-Achse verläuft.

In den Abbildungen 29 bis 32 wird deutlich, dass, bis auf wenige einzelne Ausnahmen, die Score-Werte der Versuchsgruppe, also der Pferde, die an Hufrehe erkrankt waren, tendenziell höher sind, als die entsprechenden der Vergleichsgruppe. Man kann deshalb auch bei den Einzelkriterien von einer übergenannten Korrelation zwischen dem Auftreten einer Hufrehe-Erkrankung des Pferdes und der Höhe des Score-Werts rein über die altersphysiologisch bedingte Erhöhung des Scores hinaus, sprechen. In den Abbildungen 33 und 34 werden die möglichen Korrelationen zwischen jeweils zwei der Kriterien betrachtet.

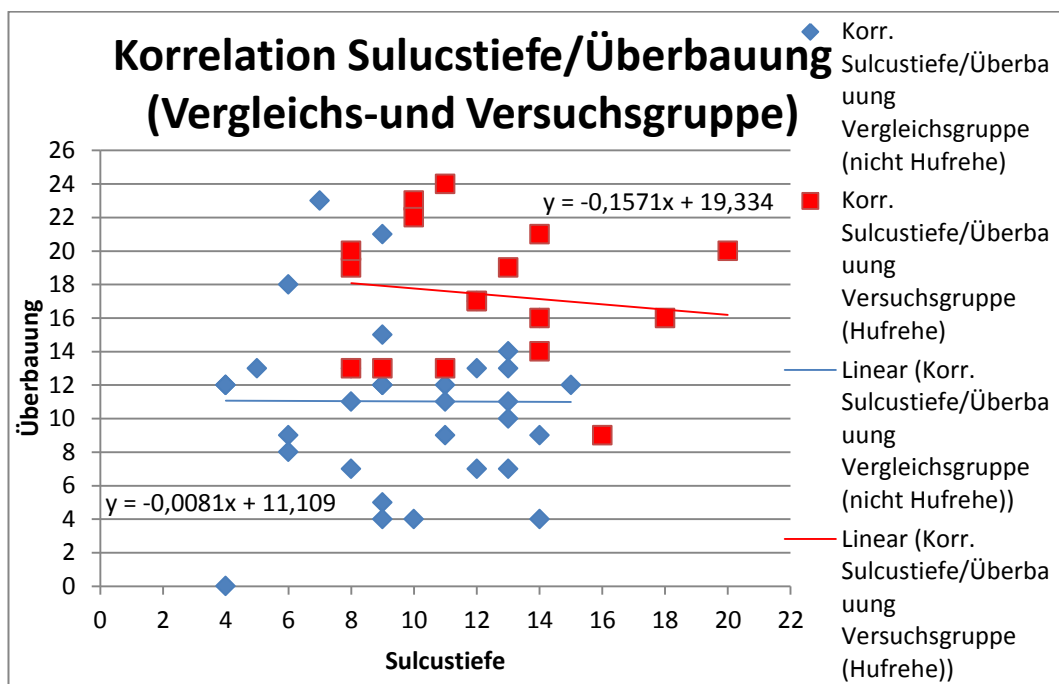


Abbildung 33: Graphische Darstellung der Korrelationen der beiden Bewertungskriterien „Sulcustiefe“ und „Überbauung“ innerhalb der Versuchs- und Vergleichsgruppe

Bei der getrennten Betrachtung der Regressionsgeraden der Korrelationen der Bewertungskriterien „Sulcustiefe“ und „Überbauung“ zeigt sich aufgrund der jeweils sehr geringen Steigungen, dass bezüglich der Vergleichsgruppe keine Korrelation vorliegt und bezüglich der Versuchsgruppe eine schwach negative.

Betrachtet man Versuchs- und Vergleichsgruppe zusammen, so zeigt sich insgesamt eine schwach positive Korrelation mit einem Korrelationskoeffizienten von $R=0,1533$ und einem Bestimmtheitsmaß von $R^2=0,0235$. Da es sich somit um eine nur sehr schwach positive Korrelation handelt, ist von keinem Zusammenhang zwischen den beiden Kriterien „Sulcustiefe“ und „Überbauung“ auszugehen. Der durchgeführte t-Tests (zweiseitig, ungepaart) ermittelt für die Vergleichsgruppe einen p-Wert von ca. 0,209, für die Versuchsgruppe einen p-Wert von ca. 0,000 und für die gemeinsame Berechnung der Vergleichs- und Versuchsgruppe einen p-Wert von ca. 0,006. Da die p-Werte der Versuchsgruppe und beider Gruppen gemeinsam unter 0,05 liegen, ist hier von keiner signifikanten Korrelation zwischen den beiden Bewertungskriterien „Sulcustiefe“ und „Überbauung“ auszugehen. Bei der Versuchsgruppe liegt zwar aufgrund des p-Werts von ca. 0,209 eine Korrelation nahe, im Zusammenhang mit der Interpretation der Regressionsgerade bezüglich der Steigung und des y-Achsenabschnitts und der Betrachtung des Korrelationskoeffizienten wird diese Annahme jedoch widerlegt. Ebenso wurde die mögliche Korrelation zwischen den Kriterien „Alternativsulcus/-ci“ und „Rauigkeit“ untersucht. Die Zusammenhänge sind in Abb. 34 dargestellt.

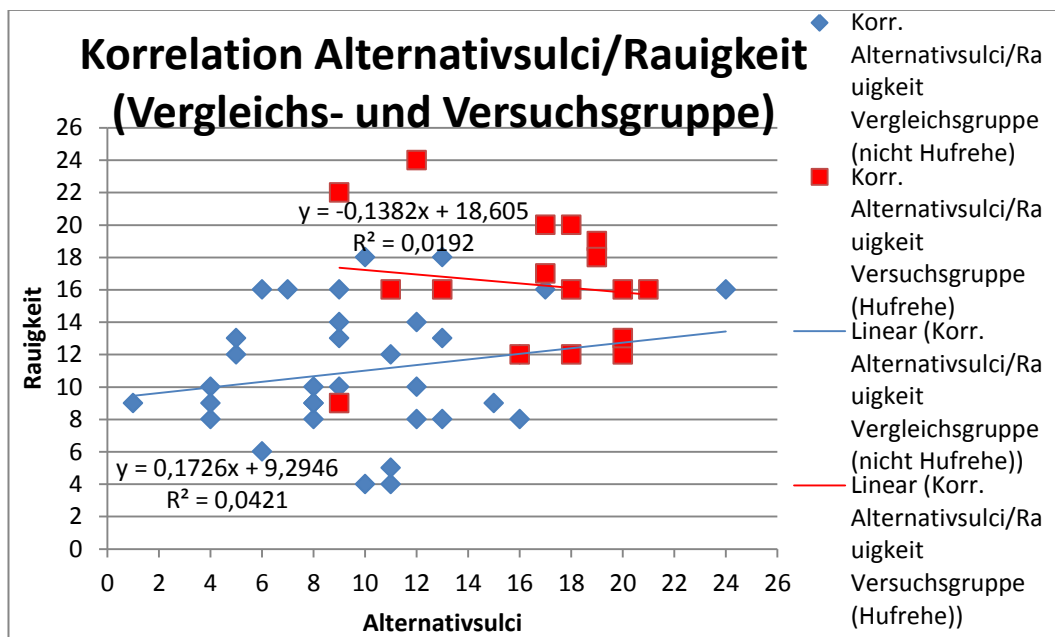


Abbildung 34: Graphische Darstellung der Korrelationen der beiden Bewertungskriterien „Alternativsulcus/-ci“ und „Rauigkeit“ innerhalb der Versuchs- und Vergleichsgruppe

Wie Abb. 34 zu entnehmen ist, ist das Bestimmtheitsmaß der Vergleichsgruppe $R^2=0,0421$ und der Korrelationskoeffizient $R=0,2052$. Die Werte der Versuchsgruppe sind $R^2=0,0192$ bzw. $R= - 0,1386$. Somit ist von einem schwach positiven Zusammenhang der beiden Kriterien innerhalb der Vergleichsgruppe auszugehen. Bei der Versuchsgruppe zeigt sich ein schwach negativer Zusammenhang zwischen der Rauigkeit der Hufbeinoberfläche und der Anzahl der Alternativsulci bzw. deren Tiefe. Dieser negative Zusammenhang ist wenig überraschend, wenn man davon ausgeht, dass die Rauigkeit evtl. als eine Art „Vorstufe“ für einige der „Alternativsulci“ zu sehen ist. Das bedeutet, die Abnahme der Rauigkeit erfolgt zugunsten der Zunahme der Alternativsulci. Betrachtet man wiederum beide Gruppen kombiniert stellt man ein Bestimmtheitsmaß von $R^2=0,1489$ und so einen Korrelationskoeffizienten von $R=0,3859$ fest. Somit besteht insgesamt eine schwach positive Korrelation zwischen dem Kriterium „Alternativsulci“ und „Rauigkeit“, jedoch unabhängig vom Vorhandensein einer Hufrehe-Erkrankung. Die Ergebnisse des t-Tests (zweiseitig, ungepaart) ergeben bezüglich der Vergleichsgruppe einen p-Wert von ca. 0,290, bezüglich der Versuchsgruppe einen p-Wert von ca. 0,966 und beide Gruppen zusammen ca. 0,449. Da alle Werte deutlich über 0,05 liegen, ist von einer signifikanten Korrelation zwischen den beiden Kriterien auszugehen, jedoch unabhängig vom Auftreten einer Hufrehe-Erkrankung.

V. DISKUSSION

1. Untersuchungsmethoden

Die röntgenologische Untersuchung gehört bei dem Verdacht des Vorliegens einer Hufrehe beim Pferd zur Standard-Vorgehensweise für die Diagnostik, Therapie-Empfehlung und Prognose-Stellung. Dazu werden üblicherweise eine lateromediale und eine dorsopalmar bzw. –plantare Projektion aufgenommen (BELKNAP und PARKS, 2011; LITTLE und SCHRAMME, 2009; SCHEBITZ und WILKENS, 2009; TAYLOR und HILLYER, 2004; REDDEN, 2009; O'GRADY und PARKS, 2008).

Die röntgenologische Untersuchung im Rahmen dieser Arbeit wurde nach diesen Empfehlungen der einschlägigen Fachliteratur und üblichen Praxis durchgeführt. Da sich jedoch im Laufe der Arbeit zeigte, dass zusätzliche Projektionen zum weiteren Erkenntnisgewinn von Vorteil wären, wurden nach und nach zu den 0°- und 90°- Projektionen noch die 35°-, 70°-, 290°- und 325°- Aufnahmen ergänzt. Diese ermöglichten die konkretere Betrachtung des Sulcus parietalis medialis bzw. lateralis und ggf. dort vorhandene Überbauungen. Aufgrund der angebrachten Röntgen-Skala könnten darüber hinaus ggf. nötige Abmessungen von auf der Aufnahme ersichtlichen Strukturen durchgeführt werden.

Da es sich um abgetrennte Gliedmaßen und keine lebenden Tiere handelte, traten dadurch bedingte röntgenologische Nebentbefunde auf. Dazu gehörten die veränderten Belastungsbedingungen am Gewebe, zum Beispiel dem fehlenden Zug der tiefen Beugesehen, welche zu Lageveränderungen einiger Hufstrukturen führten. Zusammen mit Abbauprozessen des Gewebes hatte dies zur Folge, dass bei einigen Röntgenbildern ein deutliches Absinken oder/und Rotieren des Hufbeins zu sehen war – und zwar auch bei vorberichtlich nicht an Hufrehe erkrankten Pferden. Da sich bei diesen Tieren sonst keinerlei Anzeichen einer vorangegangenen Hufrehe-Erkrankung finden ließen, muss davon ausgegangen werden, dass es sich bei erwähnten Befunden um post mortem entstandene Veränderungen handelt. Dass bei diesen Präparaten gleichzeitig auf den Röntgen-Aufnahmen Hufregionen mit teilweise großflächigem Gewebsniedergang mit

Gasbildung zu sehen waren, belegt diese Annahme. Diese Erkenntnis hat zur Folge, dass die Feststellung einer Lageveränderung des Hufbeins auf der lateromedialen Röntgenaufnahme, die sonst bei lebenden Pferden zur Diagnosesicherung der Hufrehe dient, bei den abgetrennten Gliedmaßen nicht zur alleinigen Entscheidung herangezogen werden darf, ob das Tier zu Lebzeiten an Hufrehe erkrankt gewesen war oder nicht. Allerdings zeigten sich bei den vorberichtlich an Hufrehe erkrankten Pferden zusätzlich zur Hufbein-Rotation beim Großteil noch anderweitige Rehe-typischen Veränderungen, wie zum Beispiel eine nach oben gebogene Hufbeinspitze oder/und Knochenreaktionen an der Hufbeinwand.

Weiterhin kann davon ausgegangen werden, dass durch oben beschriebene Veränderungen der Weichteile des Hufes, die Aussagefähigkeit der Röntgenergebnisse des Hufbein-Knochens und somit des Sulcus parietalis medialis bzw. lateralis nicht beeinträchtigt werden. Das bedeutet wiederum, dass die Ergebnisse der röntgenologischen Untersuchung bezüglich des Sulcus parietalis medialis bzw. lateralis auf lebende Pferde übertragen werden können.

Vorteil der röntgenologischen Untersuchung ist auch in vivo sicherlich die relativ einfache und dadurch auch gut wiederholt standardisierte Durchführbarkeit. Um die Aussagefähigkeit der Untersuchung zu erhöhen, bietet sich die Kombination der erwähnten Röntgenprojektionen mit der Venographie an. Für eine konkretere Lokalisation der Überbauung(en) und zum exakten Abmessen der Strukturen, also zum Beispiel die Länge des Sulcus parietalis medialis bzw. lateralis, ist sicherlich die Untersuchung per CT oder MRT im Vorteil. Allerdings weisen diese einen höheren finanziellen und arbeitstechnischen Aufwand auf und können nicht ambulant verwendet werden, was ihren Einsatz erschwert. Die Nachteile waren ursprünglich auch die benötigte Vollnarkose für das Pferd (KEEGAN und DYSON, 2003). Durch technische Weiterentwicklungen sind aber mittlerweile auch Untersuchungen per MRT und CT möglich, bei denen das Pferd lediglich sediert wird und die Untersuchung so im Stehen durchgeführt werden kann. Somit können diese Untersuchungsmöglichkeiten durchaus als mögliche weiterführende Diagnosemöglichkeit in Betracht gezogen werden (COELHO und KINNS, 2012; GERLACH und BERNER, 2013).

Da trotz gründlicher Recherche keine Studie mit vergleichbarem Anspruch an

eine pathologisch-anatomischen Untersuchung ermittelt werden konnte, wurde wie bereits erläutert ein einheitliches Beschreibungssystem entwickelt, welches die Grundlage für das anschließend beschriebene Bewertungsschema bildete.

Zur Durchführung der Untersuchung mussten die Gliedmaßen erst zwischen zwölf und 24 Stunden in einem mit Wasser gefüllten und über einer Gasflamme erhitzten Topf ausgekocht werden. Bei kürzerer Kochzeit war eine vollständige Säuberung des Hufbeins von allen organischen Bestandteilen nicht möglich. Bei längerer Kochdauer und vor allem bei Pferden unter einem halben Jahr bestand die Gefahr, dass Teile des Hufbeins ab- und zerbröckelten und so für eine anschließende Untersuchung nicht mehr zur Verfügung standen.

Die anschließende Untersuchung erfolgte einerseits mittels objektiv ermittelter Messwerte und andererseits durch einen Wort-Kommentar bezüglich einer Beschreibung des Sulcus, der ggf. vorhandenen Knochenüberbauten, der Rauigkeit der Facies parietalis des Hufbeins und ggf. auch besondere Auffälligkeiten, wie zum Beispiel „Hufrand unruhig und nach außen gezogen“ oder die prominente Ausbildung von als „Alternativsulcus/-sulci“ bezeichneten Gefäßrinnen an der Hufwandseite. Die Abmessung der Tiefe des Sulcus parietalis medialis bzw. lateralis am palmaren Punkt oder alternativ der Durchmesser des For. processus palmaris, genauso wie die Länge des Sulcus und die Länge des Hufbeins mittels eines Drahtes und Messbandes konnte ohne Schwierigkeiten durchgeführt werden. Um die Messwerte von der Größe des Pferdes unabhängig bewerten zu können, wurde die Länge des Sulcus parietalis medialis bzw. lateralis jeweils ins Verhältnis zur Länge der Phalanx distalis gesetzt. Aus diesem Grund wurde auch die Länge der mit Knochenspangen überbauten Anteile mit der Länge des dazugehörigen Sulcus parietalis in Prozent angegeben.

2. Patientengut

Aufgrund der am Untersuchungsort Kildare bzw. Kenmare, Irland, vorhandenen Pferdepopulation mit hoher Zahl an Englischen Vollblütern stellte diese Rasse das Patientengut dar. Da Hufrehe jedoch im Großen und Ganzen bei allen Pferderassen mit gleicher Häufigkeit vorkommt (BELKNAP und PARKS, 2011; TAYLOR und HILLYER, 2004; KNOTTENBELT und PASCOE, 2000; RIEGEL und HAKOLA, 2010; FÜRST, 2001; COFFMAN und COLLES, 1983; KATZ, et al., 2001), kann davon ausgegangen werden, dass die daraus resultierenden Erkenntnisse auch auf andere Pferderassen übertragen werden können.

Die auf den ersten Blick in Abb. 23 höher erscheinende Anzahl an Stuten in der Hufrehe-Gruppe, 71% (von 17), relativiert sich wiederum dadurch, dass auch in der Vergleichsgruppe und somit auch gesamt, nämlich 72% (von 50), zufallsbedingt verhältnismäßig mehr Stuten als Hengste und Wallache vorkamen. Fasst man die männlichen Tiere zusammen, erhält man einen Anteil von 29% (von 17) in der Hufrehe-Gruppe und 28% (von 50) bezüglich der Gesamtzahl der Tiere.

Die Entscheidung, die Auswertung der Ergebnisse auf Pferde ab einem Alter von zwei Jahren zu beschränken wurde sowohl aufgrund der mit der Arbeit festgestellten Ergebnisse, als auch aufgrund Erkenntnisse anderer Untersuchungen, welche sie untermauern, getroffen. Denn laut BUTLER, et al. (2000) ist der Proc. parietalis nicht bereits ab der Geburt ausgebildet, sondern verknöchert erst innerhalb der folgenden zwölf Monate. Das Hufbein an sich ossifiziert erst ab einem Lebensalter von ca. 18 Monaten. Weiterhin treten Hufrehe-Fälle vor diesem Alter äußerst selten auf und eigentlich nur im Zusammenhang mit kongenitaler Hufrehe bei Epidermolysis bullosa beim Quarter Horse (AFFOLTER und BORCHERS, 2011), beim Belgischen Kaltblut (KOHN et al., 1989) oder beim American-Saddlebred (HIERLMEIER et al., 2013).

Knochenumbauvorgänge finden nicht nur im Zusammenhang mit krankhaften Ereignissen statt, sondern sind auch die Folge von physiologischen Anpassungsvorgängen an funktionelle Belastungen (REESE, 2014). Bei den in dieser Arbeit untersuchten Tieren handelte es sich um Englische Vollblut-Pferde, welche für den Galopp-Rennsport gezüchtet wurden. Die meisten dieser Pferde beginnen ab ca. einem Jahr verstärkt mit dem Training, wodurch in etwa ab dieser

Zeit von höheren Belastungen für den Bewegungsapparat ausgegangen werden kann. Grundsätzlich werden Galopprennen in Irland sowohl im als auch gegen den Uhrzeigersinn ausgetragen. Gerade in jungem Alter werden jedoch viele Pferde überwiegend auf derselben Bahn und somit in derselben Richtung trainiert. Dadurch werden bei den Pferden jeweils entsprechend der Laufrichtung die Lateralseite des Hufes der inneren und die Medialseite des Hufes der äußeren Gliedmaße verstärkt belastet. Dies führte zu der Vermutung, es könnte an diesen Stellen vermehrt zu knöchernen Umbauvorgängen kommen (REESE, 2014). Da jedoch vorberichtlich nicht bekannt war, welches der Pferde vorwiegend in welcher Laufrichtung trainiert wurde, wurden die entsprechenden Einzelbewertungen der linken und rechten Hufe und davon jeweils die Medial- und Lateralseite der nicht an Hufrehe erkrankten Tiere zuerst einzeln statistisch beurteilt, wie unter *IV. 3. Ergebnisse der statistischen Auswertung* aufgeführt wurde, um evtl. Unterschiede diesbezüglich deutlich zu machen.

3. Bewertungsschema

Trotz intensiver Recherche konnte keinerlei Bewertungssystem für eine Einteilung der Befunde einer pathologisch-anatomischen Untersuchung der Hufbeine im Hinblick auf die in der vorliegenden Arbeit zu beschreibenden Hufbeinveränderungen ermittelt werden. Deshalb wurde, wie unter 2. *Versuchsreihe II mit Zwischenergebnissen* bereits genau erläutert, ein Bewertungssystem von der Autorin erarbeitet. Dieses wurde aufgrund der Ergebnisse der pathologisch-anatomischen Untersuchung der Hufbeine von 52 Pferden der Versuchsreihen I und II entwickelt. Für die tatsächliche Auswertung im Gesamtergebnis wurden davon, wie bereits erwähnt und begründet jeweils die Tiere mit einem Alter von mindestens zwei Jahren herangezogen, also 29 Pferde der Versuchsreihen I und II. Weiterhin wurden die Ergebnisse von Forschungsarbeiten anderer Autoren im Bereich Hufbeinregion beim Pferd mit einbezogen, wie im Folgenden erläutert wird.

Die Rauigkeit der Hufbeinoberfläche wurde in das Bewertungssystem aufgenommen, da in den pathologisch-anatomischen Untersuchungen der Knochen auffiel, dass die Hufbeine der Pferde, die an Hufrehe erkrankt waren, eine porösere und rauere Knochenstruktur aufwiesen als die der Pferde der Vergleichsgruppe.

Die statistische Auswertung des Kriteriums „Rauigkeit“ liefert die Werte:

- Bestimmtheitsmaß der Versuchsgruppe $R^2 = 0,2261$
- Korrelationskoeffizient der Versuchsgruppe $R = 0,4755$
- Bestimmtheitsmaß der Vergleichsgruppe $R^2 = 0,1373$
- Korrelationskoeffizient der Vergleichsgruppe $R = 0,3705$

Im Vergleich der beiden Regressionsgeraden (Vergleichsgruppe und Versuchsgruppe) zeigten sich bezüglich der Homogenität der Varianzen ein p-Wert von ca. 0,959, bezüglich der Steigung ein p-Wert von ca. 0,664 und bezüglich des Achsenabschnitts ein p-Wert von ca. 0,000. Dies bedeutet, die Regressionsgeraden unterscheiden sich signifikant. Aus den statistischen Werten lässt sich ein positiver Zusammenhang zwischen der Rauigkeit der Hufbeinoberfläche und dem höheren Alter und ein übergeordneter

Zusammenhang darüber hinaus mit dem Auftreten einer Hufrehe-Erkrankung, welcher aus der Grafik in Abb. 27 ersichtlich wird, ableiten.

Dies wird durch die Ergebnisse der Untersuchungen von RENDANO und GRANT (1978) untermauert, welche die aufgeraute Oberfläche als Folge der Demineralisation des Knochens aufgrund einer Blutunterversorgung nennen. BUTLER, et al. (2000) stellen in ihren Forschungsarbeiten die Verbindung zu dieser Demineralisation und dem Zusammenhang des Auftretens einer Osteitis im Rahmen der Hufrehe her. Somit ist die Rauigkeit der Hufbeinoberfläche als wertvolles Bewertungskriterium für die pathologisch-anatomische Untersuchung und deren Bewertung zu sehen.

Eine Überbauung des Sulcus mit einhergehender Spangenbildung und/oder auch ein zu geringer Durchmesser des jeweiligen For. processus palmaris oder eine grundsätzlich zu geringe Tiefe des Sulcus parietalis medialis bzw. lateralis schränken die darin verlaufenden Blutgefäße räumlich ein. Je größer dabei der Anteil der Überbauung ist und/oder je kleiner der Durchmesser des For. processus palmaris bzw. die Tiefe des Sulcus parietalis medialis bzw. lateralis, desto mehr kann von einem negativen Einfluss auf das Blutgefäßsystem und die Blutversorgung ausgegangen werden. So tragen diese Knochenzubildungen zu einer Blutunterversorgung bei. Solche Veränderungen wurden verstärkt bei Pferden mit zunehmendem Alter oder/und dem Auftreten einer Hufrehe-Erkrankung bei der pathologisch-anatomischen Untersuchung auffällig. Deshalb sind sie weitere Kriterien im entwickelten Bewertungssystem.

Für das Bewertungskriterium „Überbauung“ zeigen sich bei der statistischen Auswertung folgende Werte:

- Bestimmtheitsmaß der Versuchsgruppe $R^2 = 0,6120$
- Korrelationskoeffizient der Versuchsgruppe $R = 0,7823$
- Bestimmtheitsmaß der Vergleichsgruppe $R^2 = 0,3902$
- Korrelationskoeffizient der Vergleichsgruppe $R = 0,6261$

Im Vergleich der beiden Regressionsgeraden (Vergleichsgruppe und

Versuchsgruppe) zeigten sich bezüglich der Homogenität der Varianzen ein p-Wert von ca. 0,103, bezüglich der Steigung ein p-Wert von ca. 0,817 und bezüglich des Achsenabschnitts ein p-Wert von ca. 0,000. Dies bedeutet, die Regressionsgeraden unterscheiden sich signifikant. Zusammen mit den deutlich positiven Werten der Korrelationskoeffizienten spricht dies für einen starken Zusammenhang zwischen dem höheren Alter der Tiere und dem vermehrten Auftreten von Überbauungen des Sulcus parietalis medialis bzw. lateralis. Wiederum zeigt sich wie auch bei der Grafik der Abb. 27 eine darüber hinaus übergeordnete Korrelation zwischen dem Auftreten der Hufrehe-Erkrankung und der Höhe des Scores bezüglich der Überbauung mit zunehmendem Alter. Daraus zeigt sich die Berechtigung dieses Kriteriums als Teil des entwickelten Bewertungssystems.

Für das Bewertungskriterium „Sulcustiefe“ werden bei der statistischen Auswertung folgende Werte ermittelt:

- Bestimmtheitsmaß der Versuchsgruppe $R^2 = 0,0680$
- Korrelationskoeffizient der Versuchsgruppe $R = -0,2608$,
- Bestimmtheitsmaß der Vergleichsgruppe $R^2 = 0,0090$,
- Korrelationskoeffizient der Vergleichsgruppe $R = 0,0949$.

Im Gegensatz zu den anderen drei Bewertungskriterien ist bei der Grafik der „Sulcustiefe“ feststellbar, dass sich bei der Versuchsgruppe ein leicht negativer Zusammenhang zwischen der Höhe des Scores für die Sulcustiefe und dem Alter der Pferde. Auch sowohl die Steigungen der beiden Regressionsgeraden als auch die jeweiligen y-Achsenabschnitte sind unterschiedlich, bezüglich der Homogenität der Varianzen ergibt sich ein Wert für p von ca. 0,758, für die Steigung ca. 0,240 und für den Achsenabschnitt ca. 0,018. Daraus ergibt sich zwar ein signifikanter Unterschied der beiden Regressionsgeraden, dass sich der Score bezüglich der Sulcustiefe am Hufbein beim vermehrten Auftreten von Hufrehe und höherem Alter aber erhöht, lässt sich nicht belegen. Denn obwohl bei der Vergleichsgruppe eine positive – wenn auch schwache – Korrelation zwischen dem Alter und dem Score der Sulcustiefe erkennbar ist, ist sie bei der Vergleichsgruppe leicht negativ. Da es sich bei beiden Korrelationskoeffizienten um Werte handelt, die sehr wenig vom Wert null abweichen, ist von einer

fehlenden Korrelation (weder positiv noch negativ) zwischen der Sulcustiefe und dem steigenden Alter der Pferde auszugehen. Bei Betrachtung der Grafik fällt jedoch auf, dass altersunabhängig die Pferde, die vorberichtlich an Hufrehe erkrankt waren, tendenziell trotzdem höhere Score-Werte bezüglich der Sulcustiefe aufweisen, als die Pferde der Vergleichsgruppe. Somit liegt nahe, dass die Sulcustiefe zwar nicht in Zusammenhang mit einem zunehmenden Alter der Pferde steht, sehr wohl aber mit dem Auftreten einer Hufrehe-Erkrankung.

Die statistische Auswertung des Kriteriums „Alternativsulcus/-ci“ ist in Abb. 31 dargestellt und ergibt folgende Werte:

- Bestimmtheitsmaß der Versuchsgruppe $R^2 = 0,1572$
- Korrelationskoeffizient der Versuchsgruppe $R = 0,3965$
- Bestimmtheitsmaß der Vergleichsgruppe $R^2 = 0,3624$
- Korrelationskoeffizient der Vergleichsgruppe $R = 0,6020$

Diese Werte legen einen positiven Zusammenhang zwischen dem Auftreten der Alternativsulci und einem zunehmenden Alter der Pferde bzw. zusätzlich dazu dem Vorhandensein einer Hufrehe-Erkrankung nahe. Im Vergleich der beiden Regressionsgeraden (Vergleichsgruppe und Versuchsgruppe) zeigen sich bezüglich der Homogenität der Varianzen ein p-Wert von ca. 0,952, bezüglich der Steigung ein p-Wert von ca. 0,329 und bezüglich des Achsenabschnitts ein p-Wert von ca. 0,000. Dies bedeutet, die Regressionsgeraden unterscheiden sich signifikant. Zusammen mit den positiven Werten der Korrelationskoeffizienten spricht dies für einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem höheren Alter der Tiere und dem vermehrten Auftreten von Überbauungen des Sulcus parietalis medialis bzw. lateralis. Diese Erkenntnisse decken sich mit denen von THRALL (1994), der aufgrund ihrer Untersuchungen in der Ausbildung dieser von der Autorin als Alternativsulci bezeichneten Veränderungen ein Anzeichen für eine bereits längere Zeit vorliegende Blutunterversorgung sieht. Das Blutgefäßsystem bildet demnach zusätzliche Blutgefäße und dafür benötigte Gefäßrinnen als Kompensationsversuch verstärkt aus oder beansprucht bereits bestehende kleinere Gefäße zunehmend stärker. Diese Maßnahme spricht für ein schwerwiegendes zugrunde liegendes Problem im Sinne einer Minderversorgung des Knochens zum Beispiel im Zusammenhang mit einer Hufrehe-Erkrankung. Aus diesem Grund

wurde die Ausbildung eines Alternativsulcus bzw. mehrerer -sulci als berechtigtes Kriterium in das Bewertungssystem aufgenommen und durch die Statistik bestätigt.

Die vier in das Bewertungssystem aufgenommenen Kriterien werden in einem ähnlichen Zusammenhang in einer Untersuchung von RIJKENHUIZEN, et al. (1989) erwähnt. Dort wurde die arterielle Versorgung des Strahlbeins künstlich geblockt und die Folgen ausgewertet. Als Reaktion auf die Unterversorgung des Strahlbeins zeigten sich unter anderem gesteigerte Knochenumbauprozesse, eine Verschiebung der arteriellen Versorgung und zusätzliche Ausbildung von Kollateralgefäßen. Diese Veränderungen decken sich mit den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung am Hufbein.

Der zu Beginn der Untersuchung noch in Betracht gezogene Durchmesser der Forr. soleare als Bewertungskriterium wurde nach den Zwischenergebnissen der Versuchsreihen I und II fallen gelassen. Es zeigte sich bei dem Vermessen der Forr. soleares der Hufbeine, dass sich deren Größe bei Pferden ab dem Alter von zwei Jahren nur unwesentlich unterschied. Weiterhin konnte keine Tendenz im Zusammenhang mit den Durchmessern der Forr. soleares und dem Auftreten von Hufrehe festgestellt werden. HERTSCH (1983) sieht bei seinen Untersuchungen von Hufbein-Präparaten einen Zusammenhang zwischen der Verengung der Forr. soleare und den vorherberichtlichen gering- bis mittelgradigen Lahmheit dieser Pferde. Die Schlussfolgerung, dass dies jedoch mit einer Hufrehe-Erkrankung einherging, gelingt ihm nicht. Diese Annahme ließe sich auch kaum damit in Einklang bringen, dass bei der Hufrehe üblicherweise eher hochgradige, als gering- mittelgradige Lahmheiten auftreten.

Da bei der pathologisch-anatomischen Untersuchung der Hufbeine von 52 Pferden aus Versuchsreihen I und II keine weiteren anatomischen Auffälligkeiten festgestellt wurden, die auf eine Alters- oder Hufrehe-typische Veränderung hinweisen würde, beschränkt sich das Bewertungssystem auf die eben erwähnten vier Kriterien. Lediglich trat bei einigen wenigen älteren Pferden als Nebebefund eine Hufknorpelverknöcherung auf, die jedoch nicht in das Bewertungskriterium mit einbezogen wurden, da sie nicht als typische Veränderung im Rahmen der Hufrehe in Erscheinung tritt.

4. Interpretation

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zeigen, wie in der Grafik der Abb. 27 ersichtlich, keine signifikante Überlappung der Datenpunkte der Score-Werte der Vergleichsgruppe mit der Hufrehe-Gruppe. Der Wert des Pferdes mit der Versuchsnummer 12P342 mit einem Score von 70 bei einem Alter von 18 Jahren ist im Vergleich zu den restlichen Tieren jedoch verhältnismäßig etwas höher, wenn man berücksichtigt, dass dieses Pferd vorberichtlich nicht an Hufrehe erkrankt gewesen sein soll. Anhand dieses Patienten wird eine mögliche Fehlerquelle deutlich: Es besteht sowohl die Möglichkeit einer falsch-positiven, als auch falsch-negativen Einteilung ins System. Denn dadurch, dass der Vorbericht, der das Pathologische Institut in Kildare erreicht, immer nur den Zeitrahmen kurz vor dem Tode des Pferdes umfasst, kann es vorkommen, dass ein Pferd zwar aufgrund einer anderen Ursache verstorben bzw. euthanasiert wurde, jedoch trotzdem bereits einige Zeit davor an Hufrehe erkrankt war. Dieser Patient würde dann jedoch fälschlicherweise der Vergleichsgruppe zugeteilt werden, da die Hufrehe-Erkrankung dem Institut nicht bekannt gewesen wäre. Da auch die röntgenologische Untersuchung aufgrund der bereits erwähnten Gewebsveränderungen post mortem diesbezüglich nicht 100%ig aussagekräftig sind, kann nur noch die pathologisch-anatomische Untersuchung der Hufkapsel und dort evtl. typischerweise bei Hufrehe auftretenden Veränderungen einen Hinweis auf eine wahrscheinliche vorangegangene Rehe-Erkrankung geben. Dazu gehören vor allem die Ausbildung der typischen Reherringe an der Hufkapsel und/oder die Ausbildung eines Knollhufs oder sog. Pantoffel-Hufe (KNOTTENBELT und PASCOE, 2000; KÖRBER, 1997). Liegen solche pathognomonischen Veränderungen vor, können diese Tiere der Versuchsgruppe zugeteilt werden.

Ebenso ist es denkbar, dass die angegebene Todesursache „Hufrehe“ fälschlicherweise diagnostiziert und so das Tier zu Unrecht der Versuchsgruppe zugeteilt wurde. Da jedoch die Diagnose der Hufrehe im Großteil der Fälle eindeutig und ohne größere Schwierigkeiten zu stellen ist, ist der Fall dieser falsch-positiven Einteilung in die Versuchsgruppe als eher unwahrscheinlich zu betrachten.

Die Ergebnisse der Untersuchung weisen auf einen Zusammenhang zwischen den

Knochenveränderungen am Hufbein und der Hufrehe hin. Verdeutlicht wird dieser in der Grafik der Abb. 27, wo eine signifikante übergeordnete Korrelation zwischen dem Auftreten der Hufrehe und dem höheren Score über die rein altersphysiologischen Veränderungen hinaus zu sehen ist. Es tut sich dabei die Frage auf, wie dieser Zusammenhang zu bewerten ist, also ob es sich bei den beschriebenen Knochenveränderungen eher um die Ursache oder die Folge einer Hufrehe-Erkrankung handelt.

Für die Annahme, dass sich die Veränderungen in Folge einer Hufrehe entwickeln, spricht bis zum gewissen Grade die Interpretation der Statistik in Abb. 27. Würde es sich bei den Knochenveränderungen um die Ursache handeln, hätten mehr Pferde der Vergleichsgruppe ebenfalls höhere Score Werte, da diese die Pferde repräsentieren würden, die die Veränderungen bereits aufweisen würden aber (noch) keine Hufrehe entwickelt hätten. Es würde sich dann also tendenziell ein größerer Bereich zeigen, in dem sich die Datenpunkte der Versuchs- und Vergleichsgruppe überschneiden. Durch ein steigendes Alter steigt bei Pferden (vor allem Rennpferden) die funktionelle Belastung, welche einerseits zu knöchernen Anpassungsprozessen und andererseits auch zu Hufrehe führen kann. Es könnte sich dabei um zwei Veränderungen handeln, die beide ihre Ursache in einer (zu) hohen Belastung haben aber sich auch gegenseitig bedingen könnten.

Da es sich in den vorliegenden Untersuchungen jedoch teilweise vorberichtlich auch um akute Hufrehe-Fälle handelte, kann sich in der Kürze der Zeit, der Knochen von Beginn der Erkrankung bis zur Euthanasie und der anschließenden pathologisch-anatomischen Untersuchung nicht so stark verändert haben. Dies wiederum untermauert die Annahme, dass es sich bei den Knochenveränderungen um die Ursache handelt. Denn derartige Knochenzubildungen stellen auch laut RIEGEL und HAKOLA (2010), LITTLE und SCHRAMME (2009) und FRISBIE (2011) eher Folgen eines länger andauernden, chronischen Prozesses dar.

Einen Rückschluss, ob die hier beschriebenen knöchernen Veränderungen am Hufbein nun Folge oder Ursache einer Hufrehe-Erkrankung sein können, ist somit aufgrund der vorliegenden Untersuchung nicht eindeutig zu treffen. Dass jedoch die Hufrehe-Erkrankung als das Eine oder das Andere in Zusammenhang mit den Knochenveränderungen am Hufbein steht, ist durchaus wahrscheinlich.

Und auch selbst wenn die Knochenveränderungen Folgen einer ersten Hufrehe-Erkrankung sind, ist es doch sehr naheliegend, dass diese daraus resultierenden Veränderungen am Hufbein evtl. im Zusammenspiel mit anderen bereits unter 3. *Ätiologie und Pathogenese* beschriebenen Faktoren für weitere Hufrehe-Erkrankungen/Rezidive bzw. akute Schübe während einer chronischen Hufrehe-Erkrankung prädisponierend sind und somit wiederum eine weitere (Mit-)Ursache einer Hufrehe-Erkrankung darstellen können.

Wie Abb. 28 erahnen lässt, finden bereits gewisse Umbauvorgänge am Hufbein in jungem Alter statt. Dies deckt sich mit den Meinungen anderer Autoren (BUTLER et al., 2000; REESE, 2014) wonach Auf- und Umbau-Prozesse am Hufbein gerade im Rahmen des Wachstums als physiologische Anpassungsvorgänge an verschiedene funktionelle Belastungen zu sehen sind. Um deutlicher herausfinden zu können, ob es sich bei derartigen Veränderungen um die Folge oder Ursache der Hufrehe handelt, wäre eine weitergehende Untersuchung von Vorteil, welche MRT-Studien von Pferden bewertet, die sich zum Zeitpunkt vor und zu Beginn des Trainings mit der Struktur der Hufbeine befasst und sie mittels des entwickelten Bewertungssystems einordnet. So könnte belegt werden, ob bzw. wann die starken Veränderungen des Hufbeins einsetzen.

Steigen sie sprunghaft zu Beginn des Trainings an und entwickeln diese Tiere im Verlauf ihres Lebens mit größerer Wahrscheinlichkeit eine Hufrehe-Erkrankung, ist davon auszugehen, dass es sich bei derartigen Veränderungen um die Anpassungsvorgänge an funktionelle Belastungserhöhungen handelt und damit einhergehend eine höhere Wahrscheinlichkeit der Hufrehe-Entwicklung vorliegt.

Oder aber die Tiere zeigen bei regelmäßigen MRT-Untersuchungen bis zu einem gewissen Zeitpunkt „physiologische“ Anpassungsvorgänge am Hufbein und weisen erst nach einer evtl. auftretenden Hufrehe-Erkrankung vermehrt diese Veränderungen am Hufbein auf. Dann wären diese eher als Folge zu sehen.

Haben bereits vor dem Training oder zu Beginn der höheren Belastung einige Tiere auffallende Veränderungen am Hufbein, könnten diese weiterhin regelmäßig mittels MRT untersucht werden. Würde sich bei diesen Tieren im Laufe deren Lebens eine höhere Tendenz zur Entwicklung einer Hufrehe festgestellt werden, könnten die in dieser Arbeit beschriebenen Knochenveränderungen am Hufbein als prädisponierender Faktor für Hufrehe belegt werden.

5. Bedeutung für die Praxis

5.1. Vorschlag für geeignete bildgebende Standardverfahren

Aufgrund der in vorliegender Arbeit erhaltenen Ergebnisse eignet sich für den Patienten in der Praxis die röntgenologische Untersuchung mit den 0°-, 35°-, 70°-, 90°-, 290°- und 325°- Projektionen um einen ersten Anhaltspunkt nicht nur für das Vorliegen einer Hufrehe, sondern auch evtl. vorhanden Knochenveränderungen am Hufbein, im Speziellen die Überbauungen am Hufbein, zu erhalten. Gegebenenfalls eignet sich dabei die Kombination mit der Venographie, da dann zusätzlich Änderungen in der Durchblutung und sogar evtl. vermehrt vorhandene Alternativsulci an den Seitenwänden des Hufbeins dargestellt werden können.

Zur genaueren Lokalisation und zur Feststellung des Ausmaßes der Veränderungen bietet sich anschließend eine weitere Untersuchung mit MRT oder CT an.

5.2. Vorschlag für ein Auswertungsschema

Aufgrund der Ergebnisse aus der MRT oder CT Untersuchung sollte es möglich sein, dieselben wie in 2. *Versuchsreihe II mit Zwischenergebnissen* erarbeiteten Kriterien mit dem ebenfalls entwickelten Bewertungssystem zu verwenden. Denn im MRT und CT sind aufgrund der Möglichkeit der dreidimensionalen Darstellung die für das entwickelte Bewertungssystem benötigten Strukturen exakt messbar und bewertbar. Sowohl die Länge des Sulcus parietalis medialis bzw. lateralis, als auch die Hufbeinlänge, die Rauigkeit, der Durchmesser bzw. die Tiefe des Sulcus an seinem Anfang und auch evtl. vorhandene Alternativsulci lassen sich darstellen. Alle weiteren Berechnungen und Bewertungen des Bewertungssystems, einschließlich des Scores, sind mittels dieser Werte möglich.

Anhand des dabei ermittelten Scores bietet sich eine Vergleichsmöglichkeit mit der in Abb. 27 gezeigten Grafik bezüglich der Vergleichs- oder Versuchsgruppe. Somit bietet sich, neben den bereits in der Praxis bekannten Verfahren und Möglichkeiten der Diagnose- und Prognosestellung, ein weiteres Kriterium, je nachdem, ob sich der Score des Patienten in der Praxis eher denen der Vergleichs-

oder der Versuchsgruppe annähert. Weiterhin kann die Interpretation des Score-Wertes im Verhältnis zum Alter einen Hinweis auf das Rezidivrisiko des Patienten geben.

5.3. Vorschlag zur chirurgischen Therapie

Ist die Lokalisation der evtl. vorliegenden Veränderungen, im Besondern der Überbauungen/Knochenspangen durch MRT oder CT festgestellt, besteht möglicherweise die Chance, sie zu entfernen und evtl. so die Prognose zu verbessern bzw. die Rezidivgefahr zu verringern. Diese Vorgehensweise wurde zwar im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht untersucht und bedarf deshalb weiterer Studien, jedoch liegen Erfahrungswerte bei ähnlichen OP-Techniken vor. So beschreiben RIEGEL und HAKOLA (2010) die Entfernung einer subchondralen Knochenzyste durch Auffräsen der Hufwand unter Vollnarkose in Seitenlage des Pferdes. Unter Röntgendurchleuchtung wird die exakte Stelle der Zyste während der Operation festgestellt und mittels einer Kürette entfernt bis vitales und so blutendes Knochengewebe erreicht wird. Anschließend erfolgen die Wundversorgung und ein steriler Hufverband. Eventuell kann zur besseren Heilung ein Knochenimplantat aus Spongiosa in die entstandene Lücke verpflanzt werden. Bei geeigneter Nachsorge ist die Prognose laut RIEGEL und HAKOLA (2010) sehr günstig.

Die eben beschriebene OP-Technik könnte sich eventuell auch in Modifikation für die Entfernung von Knochenspangen, die den Sulcus parietalis medialis bzw. lateralis verengen, einsetzen lassen.

Auch GERHARDS (2014) sieht aus Erfahrungen durch bereits bewährte Operations-Techniken, die ebenfalls zum Beispiel zur Entfernung von Chips oder Knochenzysten mit einem Zugang durch die Hufwand durchgeführt werden, durchaus eine chirurgische Möglichkeit zur Entfernung der Knochenspangen.

So könnte die Knochenzubildung(en) entfernt und dadurch das darin laufende Gefäß im Sinne einer Vasolyse befreit werden.

VI. ZUSAMMENFASSUNG

Trotz bereits zahlreicher Untersuchungen zur Hufrehe beim Pferd fällt es oft schwer, eine eindeutige Ursache für das Entstehen der Erkrankung festzustellen, vielmehr scheint es sich in den meisten Fällen um eine multifaktorielle Krankheit zu handeln. Dies erschwert sowohl die Prognose, als auch die Therapie, weshalb die Pododermatitis aseptica diffusa auch noch heute zu einer der häufigsten Todesursachen bei Pferden zählt. Und obwohl in vielerlei Richtungen bereits geforscht wurde und einige Ergebnisse auf einen Zusammenhang der Hufrehe mit vorhandenen Einschränkungen der Blutzirkulation hindeuten, findet man bisher keinerlei fundierte Forschungsarbeiten, die einen möglichen Zusammenhang zwischen diesen Durchblutungsstörungen und dem Vorhandensein von Knochenveränderungen an den Gefäßrinnen des Hufbeins untersuchen.

In vorliegender Arbeit wurde deshalb der mögliche Zusammenhang zwischen dem Auftreten einer Hufrehe-Erkrankung und dem Vorhandensein von knöchernen Veränderungen am Hufbein, vor allem am und um die Region des Sulcus parietalis medialis bzw. lateralis untersucht.

Im Zeitraum vom Oktober 2012 bis April 2014 wurden Gliedmaßen-Präparate von 82 Englischen Vollblut-Pferden untersucht, von denen 50 letztlich in das in dieser Arbeit entwickelte System zur Bewertung eingegangen sind. Bei den restlichen handelte es sich um Tiere, welche unter zwei Jahre alt waren und aufgrund der vorläufigen Untersuchungsergebnisse dieser Arbeit und dem Vergleich mit einschlägiger Fach-Literatur als nicht repräsentativ für die vorliegende Untersuchung angesehen werden konnten. Aus diesem Grund wurden sie nicht in die endgültige Auswertung mit einbezogen.

Die im Fesselgelenk abgetrennten und mit VR (vorne-rechts), VL (vorne-links), HR (hinten-rechts) und HL (hinten-links) gekennzeichneten Pferdegliedmaßen wurden vom Pathologischen Institut des Irish Equine Centre, Kildare, Irland zur Verfügung gestellt. Bei vier der insgesamt fünf Versuchsreihen erfolgte eine röntgenologische Untersuchung, gefolgt von einer pathologisch-anatomischen Untersuchung nach dem Auskochen der Präparate in heißem Wasser für zwölf bis

24 Stunden. Bei einer der Versuchsreihen (Versuchsreihe II) wurden bereits ausgekochte Hufbeine zur Verfügung gestellt und demnach nur eine pathologisch-anatomische Untersuchung durchgeführt.

In der pathologisch-anatomischen Untersuchung aller Versuchsreihen zeigten sich in verschieden starker Ausprägung folgende Ergebnisse:

- Knöcherne Zubildungen im Bereich des Sulcus parietalis medialis bzw. lateralis, dadurch Verengung des Sulcus parietalis medialis bzw. lateralis
- Knöcherne Zubildungen an der Inc. processus palmaris medialis bzw. lateralis, teilweise ebenfalls verbunden mit einer Einengung des Sulcus parietalis medialis bzw. lateralis
- Raue Hufbeinwand
- Ausbildung von einem oder mehreren zusätzlichen Gefäßrinne(n)/Alternativsulcus bzw. -sulci

Bei allen untersuchten Tieren traten die Veränderungen an den Vordergliedmaßen jeweils deutlicher auf als an den zugehörigen Hintergliedmaßen, weshalb im weiteren Verlauf die Untersuchungen und deren Ergebnisse auf die Vordergliedmaßen beschränkt wurden. Weiterhin konnte festgestellt werden, dass die Veränderungen signifikant mit höherem Alter stärker wurden und darüber hinaus eine übergeordnete Korrelation zwischen den knöchernen Veränderungen am Hufbein und dem Vorliegen einer Hufrehe-Erkrankung bestand.

Da bisher keine vergleichbaren Studien vorlagen, wurde im Rahmen dieser Arbeit ein Bewertungssystem für die objektive Auswertung der beschriebenen Knochenveränderungen entwickelt, was auch eine statistische Bewertung der Ergebnisse ermöglichte.

In der röntgenologischen Untersuchung zeigte sich die gute Darstellbarkeit sowohl der Inc. processus palmaris medialis bzw. lateralis/des For. processus palmaris medialis bzw. lateralis, als auch des Sulcus parietalis medialis bzw. lateralis. Dort evtl. vorhandene Veränderungen wie z.B. Überbauungen wurden im Röntgenbild sichtbar. Es bewährten sich dazu die Projektionen im 0°-, 35°-, 70°-, 90°-, 290°- und 325°-Winkel. Bei einigen der Hufrehe-Pferde der

Versuchsreihe zeigten sich darüber hinaus noch eine konkave Wölbung der Hufbeinwand und der Hufbeinspitze und/oder Knochenreaktionen an der Hufbeinoberfläche.

Aufgrund der Ergebnisse und deren statistischer Auswertung ist ein Zusammenhang zwischen den beschriebenen Knochenveränderungen am Hufbein und dem Auftreten einer Hufrehe-Erkrankung wahrscheinlich. Ob es sich dabei eher um Folge oder Ursache handelt, konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht eindeutig geklärt werden, jedoch sind in jedem Fall derartige Veränderungen als ein weiterer möglicher prädisponierender Faktor für einen (weiteren) Reheschub zu sehen.

Dieses Ergebnis ist einerseits wichtig zur Erörterung einer weiteren möglichen Ursache der Hufrehe und gibt andererseits auch eine wertvolle Ergänzung zur Bewertung eines Hufrehe-Patienten im Hinblick auf die Prognose-Stellung. Außerdem bietet sich so die Möglichkeit, sobald vorhandene Überbauungen als berechnete mögliche (Mit-)Ursache einer Hufrehe-Erkrankung vorliegen, diese mit Hilfe geeigneter und sich bereits bei der chirurgischen Behandlung vergleichbarer orthopädischer Erkrankungen bewährter Operations-Techniken zu entfernen.

VII. SUMMARY

Although, there have already been numerous studies performed, it is still often very difficult to ascertain a definite cause for the appearance of laminitis in horses. In fact, in most cases it seems to be a multifactorial disease. This can complicate the prognosis as well as therapy, which might be the reason why laminitis (*Pododermatitis aseptica diffusa*) is still one of the most likely causes of death in horses. Despite there has been research in various directions and some of their results indicate a connection between laminitis and the existence of a lack in blood circulation, there is still no established research study so far that examines a possible correlation between these circulatory dysfunctions and the existence of bone transformation processes at the channels that carry the vessels of the pedal bone.

Therefore, the possible correlation between the incidence of laminitis and the existence of bone remodelling at the pedal bone, particularly at and around the region of the *Sulcus parietalis medialis* and *lateralis* was examined in the here present work.

Between October 2012 and April 2014 the lower limbs of 82 Thoroughbred horses were examined 50 of which were entered into this work developed evaluation system in the end. The remaining animals were less than two years old and due to the preliminary results of the presented project and the comparison with relevant specialist literature were therefore seen as non-representative for the here present work. For that reason, they were excluded from the final evaluation.

The limbs had been cut off in the fetlock joint, labelled with VR (right front), VL (left front), HR (right hind) and HL (left hind) and provided by the Pathologic Institute of the Irish Equine Centre, Kildare, Ireland. In four out of the overall five experimental series, a radiological examination was performed, followed by a pathologic-anatomical examination after boiling the preparations in hot water for twelve to 24 hours. In one experimental series (experimental series II) already boiled out pedal bones were provided so that only a pathologic-anatomical examination was conducted.

Following results were shown in the pathologic-anatomical examination to a greater or lesser degree in all experimental series:

- Exostoses in the area of the Sulcus parietalis medialis and lateralis and thus narrowing of the Sulcus parietalis medialis and lateralis
- Exostoses at the Inc. processus palmaris medialis and lateralis, to some extent associated with narrowing of the Sulcus parietalis medialis and lateralis
- Rough surface of the pedal bone wall
- Formation of one or several additional channel(s)/alternative sulcus/-ci that carry the vessels

In all examined animals, the alterations were found more considerable at the front than at the corresponding hind legs for which reason during the further procedure, the examinations and their results were limited to the front limbs. Furthermore, it was shown that the transformations became significantly more severe with higher age and above that a higher-levelled correlation between the bony alterations at the pedal bone and the incidence of laminitis was found.

Up until now, no comparable study has existed, a grading system for the objective evaluation of the described bone remodelling was developed, which allowed as well for statistic analysis.

In the radiological examination, the Inc. processus parietalis medialis and lateralis/the For. processus palmaris medialis and lateralis could be clearly represented as well as the Sulcus parietalis medialis and lateralis. At this region possible existing transformations as, for example, bony spurs could be observed on the x-ray. For that purpose, projections of 0°-, 35°-, 70°-, 90°-, 290°- and 325°- angles showed best value. Some of the laminitis horses of the experimental group showed beyond that a concave curvature of the pedal bone wall and the tip of the pedal bone and/or bone reactions at the surface of the pedal bone.

Based on the results and the statistic analysis, a correlation between the described bone transformations at the pedal bone and the incidence of laminitis is likely. Whether they are rather the consequence or the cause, could not be conclusively ascertained in this work, however, in either case this bone remodelling is to be seen as one further possible predisposing factor for an(-other) onset of laminitis.

This finding on the one side is important for discussing it as a further possible cause of laminitis and on the other side a valuable addition for evaluating a laminitis patient in terms of setting a prognosis. Moreover, if bony spurs exist as a likely possible (also responsible) cause for laminitis, it offers the opportunity to remove them with appropriate surgery procedures that have already been approved in the surgical treatment of similar orthopaedic illnesses.

VIII. LITERATURVERZEICHNIS

ABRAHAMSEN E. J. Equine Pain Management [Konferenz] // Proceedings of the 44th British Equine Veterinary Association. - [s.l.] : British Equine Veterinary Association, 2005. - S. 241-242.

AFFOLTER V. K. und BORCHERS A. Fohlenmedizin - Teil IV Hauterkrankungen [Buch] / Hrsg. FEY K. und KOLM G.. - Stuttgart, 2011. - S. 266-267.

ALLEN D., CLARK E. S., MOORE J. M. und PRASSE K. W. Evaluation of the equine Starling forces and haemodynamics during early laminitis [Artikel] // American Journal of Veterinary Research. - 1990. Bd.51 - S. 1930-1934.

BELKNAP J. K. und PARKS A. Adams and Stashak's Lameness in Horses - The Foot - Laminitis [Buch] / Hrsg. BAXTER G. M.. - West Sussex : Blackwell Publishing, Ltd., 2011. - 6 : S. 895-936.

BUDRAS K.-D., SACK W. O. and RÖCK S. Anatomy of the Horse: An Illustrated Text - The Hoof (Ungula) [Book]. - Hannover : Schlütersche, 2004. - 5 : pp. 26-28.

BUTLER, J. A., COLLES, C. M., DYSON, S. J., KOLD, S. E., POULOS, P. W. Clinical Radiology of the Horse - Chapter 2: Foot, Pastern and Fetlock [Buch]. - Oxford : Blackwell Science Ltd, 2000. - S. 27-130.

COELHO J. C., L., S. und KINNS J. Equine Surgery - Fourth Edition - Chapter 71: Magnetic Resonance Imaging [Buch] / Hrsg. AUER J. A. und STICK J. A.. - St. Louis : Elsevier, 2011. - S. 985-997.

COFFMAN, J. R., JOHNSON, J. H., GUFFY, M. M., FINOCCHIO, E. J. Hoof circulation in equine laminitis [Artikel] // Journal of the American Veterinary Medical Association. - 1970. - Bd. 156. - S. 76-83.

COFFMAN J. R. und COLLES C. M. Insulin tolerance in laminitic ponies [Artikel] // Canadian Journal of Comparative Medicine / Hrsg. GUELPH E. N.. - Ontario, 1983. - Bd. 47. - S. 347-351.

CRIPPS P. J. und EUSTACE R. A. Factors involved in the prognosis of laminitis in the UK [Artikel] // Equine Veterinary Journal / Hrsg. MARR C. M.. - [s.l.] : EVJ Ltd, 1999. - S. 433-442.

CZECH C. Die digitale Phlebographie des an Hufrehe erkrankten Pferdes [Dissertation]. - München : Tierärztliche Fakultät, 2006.

DAVIES H. M.S., PHILIP C. J. und MERRITT J. S. Hufkrankheiten: Diagnostik - Therapie - orthopädischer Beschlag - Kapitel 2: Funktionelle Anatomie [Buch] / Hrsg. FLOYD A. E. und MANSMANN R. A.. - München : Elsevier GmbH, 2009. - S. 29-46.

EADES S. C. Laminitis Research: Louisiana State University [Konferenz] // Proceedings of the Fifth International Equine Conference of Laminitis and Diseases of the Foot. - 2009. - S. 34-35.

EPS A. W. und POLLITT C. C. Equine Laminitis: cryotherapy reduces the severity of the acute lesion [Artikel] // Equine Veterinary Journal / Hrsg. MARR C. M.. - [s.l.] : EVJ Ltd, 2004. - 3 : Bd. 36. - S. 255-260.

EPS A. W. van Blackwell's Five Minute Veterinary Consult: Equine Laminitis [Buch] / Hrsg. LAVOIE J.-P., HINCHCLIFF K. W. und DAVIDSON E. J.. - Iowa : Wiley-Blackwell, 2008. - S. 438-440.

FLOYD A. E. Hufkrankheiten: Diagnostik - Therapie - orthopädischer Beschlag - Kapitel 14: Klassifizierung von Pferden mit Hufrehe [Buch] / Hrsg. FLOYD A. E. und MANSMANN R. A.. - München : Elsevier GmbH, 2009a. - S. 323 - 331.

FLOYD A. E. Hufkrankheiten: Diagnostik - Therapie - orthopädischer Beschlag - Kapitel 16: Therapieansatz bei schwerer Hufrehe [Buch] / Hrsg. FLOYD A. E. und MANSMANN R. A.. - München : Elsevier GmbH, 2009b. - S. 353-365.

FRISBIE D. D. Equine Surgery - Fourth Edition - Chapter 78: Synovial Joint Biology and Pathobiology [Buch] / Hrsg. AUER J. A. und STICK J. A.. - St. Louis : Elsevier, 2011. - S. 1096-1113.

FÜRST A. Die Hufrehe [Vorlesungsunterlagen 2001]. - Zürich : VETERINÄRCHIRURGISCHE KLINIK DER UNIVERSITÄT ZÜRICH, 2001.

GARCÍA_LOPEZ J. M. Diagnosis and Management of Lameness in the Horse -

Chapter: 20: Computed Tomography [Buch] / Hrsg. ROSS M. W. und DYSON S. J.. - St. Louis : Saunders, 2003. - S. 213-215.

GARNER, H. E., MOORE, J. N., JOHNSON, J. H., CLARK, L., AMEND, J. F., TRITSCHLER, L. G., COFFMAN, J. R., SPROUSE, R. F., HUTCHESON, D. P., SALEM, C. A. Changes in cecal flora associated with the onset of laminitis [Artikel] // Equine Veterinary Journal / Hrsg. MARR C. M. - [s.l.] : EVJ Ltd, 1978. - 4 : Bd. 10. - S. 249-252.

GERHARDS H. // Persönliche Mitteilungen vom 11.02.2014. - München : [s.n.], 2014. - S. .

GERHARDS H. Iatrogene Ursachen für Hufrehe [Konferenz] // Internationales Symposium "Hufrehe" - International Symposium "Laminitis" / Hrsg. HERTSCH B. W.. - Warendorf, München : FNverlag der Deutschen Reiterlichen Vereinigung GmbH, Gesellschaft für Pferdemedizin e.V., 2011. - S. 146-149.

GERLACH K. und BERNER D. Bildgebende Diagnostik im Hufbereich. Schwerpunkt MRT [Konferenz] // 7. Leipziger Tierärztekongress Tagungsband / Hrsg. RACKWITZ R. [et al.]. - Berlin : Lehmanns Media GmbH, 2013. - S. 291-294.

HABERMEHL K.-H. Lehrbuch der Anatomie der Haustiere - Haut und Hautorgane des Pferdes [Buch] / Hrsg. HABERMEHL K.-H. [et al.]. - Stuttgart : Parey Verlag, 2005. - Bde. 3 - Kreislaufsystem, Haut und Hautorgane : S. 553-576.

HENDRICKSON D. A. Techniques in Large Animal Surgery - Kapitel 9: Equine Orthopedic Surgery [Buch]. - Iowa : Blackwell Publishing, 2007. - S. 113-145.

HERTSCH B. W. Zur Arteriographie der Zehe des Pferdes [Artikel] // Berliner und Münchner Tierärztliche Wochenschrift. - 1973. - 86. - S. 461-465.

HERTSCH B. W. Arteriographische Untersuchungen an den Extremitäten beim Pferd [Buch]. - Warendorf : FN-Verlag der Deutschen Reiterlichen Vereinigung GmbH, 1983. - S. 112-119; 128 - 139; 251-261.

HERTSCH B. W. Hinweise zur Diagnostik und Empfehlungen für die Therapie der Hufrehe in der Pfedepaxis [Konferenz] // Internationales Symposium "Hufrehe" - International Symposium "Laminitis" / Hrsg. HERTSCH B.. -

Warendorf, München : FNverlag der Deutschen Reiterlichen Vereinigung GmbH, Gesellschaft für Pferdemedizin e.V., 2011. - S. 246-264.

HIERLMEIER, B., PETERS, M., BIENERT-ZEIT, A., HEWICKER-TRAUTWEIN, M., KAPPLER, L., WOHLSEIN, P. Hereditäre Epidermiolysis bullosa junctionalis bei einem American Saddlebred-Fohlen in Deutschland [Artikel] // Pferdeheilkunde / Hrsg. LAUK H. D. [et al.]. - Baden-Baden : Hippatrika Verlag GmbH, 2013. - 5 : Bd. 29. - S. 621-627.

HOOD, D. M., AMOSS, M. S., HIGHTOWER, D., MCDONALD, D. R., MCGRATH, J. P., MCMULLAN, W. C., SCRUTCHFIELD, W. L. Equine Laminitis I: Radioisotopic analysis of the hemodynamics of the foot during the acute disease [Artikel] // The Journal of Equine Medicine and Surgery. - [s.l.] : Veterinary Publications, Incorporated, 1978. - Bd. 2. - S. 439-444.

KATZ, L. M., DE BRAUWERE, N., ELLIOTT, J., MARR, C. M., PFEIFFER, D. U. A retrospective epidemiological study of laminitis in one region of the UK [Konferenz] // Proceedings of the 40th British Equine Veterinary Association Congress. - [s.l.] : Blackwell Publishing, 2001. - S. 199.

KEEGAN K. und DYSON S. J. Diagnosis and Management of Lameness in the Horse - Chapter 26: Clinical Investigation of Foot Pain [Buch] / Hrsg. ROSS M. W. und DYSON S. J.. - St. Louis : Saunders, 2003. - S. 242-249.

KNOTTENBELT D. C. und PASCOE R. R. Farbatlas der Pferdekrankheiten - Erkrankungen des Bewegungsapparates [Buch]. - Hannover : Schlütersche, 2000. - 2. : S. 226-230.

KOHN, C. W., JOHNSON, G. C., GARRY, F., JOHNSON, C. W., MARTIN, S., SCOTT, D. W. Mechanobullous disease in two Belgian foals [Artikel] // Equine Veterinary Journal / Hrsg. MARR C. M.. - [s.l.] : EVJ Ltd, 1989. - 4 : Bd. 21. - S. 297-301.

KÖNIG, H. E., POPESCU, A., POLSTERER-HEINDL, E., HINTERHOFER, C. Arteriovenöse Koppelung im Zehenendorgan des Pferdes [Artikel] // Pferdeheilkunde / Hrsg. LAUK H. D. [et al.]. - Baden-Baden : Hippatrika Verlag GmbH, 2003. - 5 : Bd. 19. - S. 459-462.

KÖRBER H.-D. Huf, Hufbeschlag, Hufkrankheiten - Anatomie des Hufes

[Buch]. - Stuttgart : Franckh-Kosmos Verlags GmbH & Co., 1997. - S. 12-23.

LIEBICH H.-G., MAIERL J. und KÖNIG H. E. Anatomie der Haussäugetiere - Knochen der Schultergliedmaße - Skelett des Vorderfußes des Pferdes [Buch] / Hrsg. KÖNIG H. E. und LIEBICH H.-G.. - Stuttgart : Schattauer GmbH, 2009. - S. 155-159.

LINFORD R. L., O'BRIEN T. R. und TROUT D. R. Qualitative and morphometric radiographic findings in the distal phalanx and digital soft tissue of sound thoroughbred racehorses [Artikel] // American Journal of Veterinary Research / Hrsg. MATUSHEK K. J.. - SCHAUMBURG : American Veterinary Medical Association, 1993. - Bd. 54. - S. 38-51.

LITTLE D. und SCHRAMME M. C. Hufkrankheiten: Diagnostik - Therapie - orthopädischer Hufbeschlag - Kapitel 8: Bildgebende Verfahren - Radiographie und Radiologie [Buch] / Hrsg. FLOYD A. E. und MANSMANN R. A.. - München : Elsevier GmbH, 2009. - S. 119-131.

LOVE E. J. Equine Surgery - Fourth Edition - Chapter 23: Equine Pain Management [Buch] / Hrsg. AUER J. A. und STICK J. A.. - St. Louis : Elsevier, 2011. - S. 263-270.

MOLYNEUX, G. S., HALLER, C. J., MOGG, K., POLLITT, C. C. The structure, innervation and location of arteriovenous anastomoses in the equine foot [Artikel] // Equine Veterinary Journal / Hrsg. MARR C. M.. - [s.l.] : EVJ Ltd, 1994. - 4 : Bd. 26. - S. 305-312.

MORRISSON S. E. Foot Management [Article] // Clinical Techniques in Equine Practice / ed. ORSINI J. A.. - Philadelphia, London, Toronto : Saunders Company, 2004. - Laminitis. - pp. 71-82.

NICKEL, R., SCHUMMER, A., WILLE, K.-H., WILKENS, H. Lehrbuch der Anatomie der Haustiere - Knochen der Schultergliedmaße des Pferdes; Knochen der Beckengliedmaße des Pferdes [Buch] / Hrsg. FREWEIN J., WILLE K.-H. und WILKENS H.. - Stuttgart : Parey Verlag, 2004. - Bde. 1 - Bewegungsapparat : S. 91-97; 124-128.

NICKELS F. A. Diagnosis and Management of Lameness in the Horse - Kapitel 35: Laminitis [Buch] / Hrsg. ROSS M. W. und DYSON S. J.. - St. Louis :

Saunders, 2003. - S. 325-339.

O'GRADY S. E. und PARKS A. Farriery Options for Acute and Chronic Laminitis [Konferenz] // 54th Annual Convention of the American Association of Equine Practitioners / Hrsg. Practitioners American Association of Equine. - Orlando : American Association of Equine Practitioners, 2008.

PASS M. A., POLLITT S. und POLLITT C.C. The Equine Hoof: Decreased glucose metabolism causes separation of hoof lamellae in vitro: a trigger for laminitis? [Artikel] // Equine Veterinary Journal / Hrsg. MARR C. M.. - [s.l.] : EVJ Ltd, 1998. - 26. - S. 133-138.

POLLITT C. C. Equine Laminitis [Article] // Clinical Techniques in Equine Practice / ed. ORSINI J. A.. - Philadelphia, London, Toronto : Saunders Company, 2004. - Laminitis. - pp. 34-44.

POLLITT C. C. Hufkrankheiten: Diagnostik - Therapie - orthopädischer Beschlag - Kapitel 4: Mikroskopische Anatomie und Physiologie [Buch] / Hrsg. FLOYD A. E. und MANSMANN R. A.. - München : Elsevier GmbH, 2009a. - S. 63-74.

POLLITT C. C. Hufkrankheiten: Diagnostik - Therapie - orthopädischer Beschlag - Kapitel 13: Pathophysiologie der Hufrehe [Buch] / Hrsg. FLOYD A. E. und MANSMANN R. A.. - München : Elsevier GmbH, 2009b. - S. 315-322.

POLLITT C. C. und DAVIES C. T. The Equine Hoof: Equine Laminitis: its development coincides with increased sublamellar blood flow [Journal] / Hrsg. MARR C. M.. - [s.l.] : EVJ Ltd, 1998. - Bd. 26. - S. 125-132.

POLLITT C. C., PASS M. A. und POLLITT S. The Equine Hoof: Batimastat (BB-94) inhibits matrix metalloproteinases of equine laminitis [Artikel] // Equine Veterinary Journal / Hrsg. MARR C. M.. - [s.l.] : EVJ Ltd, 1998. - Bd. 26. - S. 119-124.

REDDEN R. F. Hufkrankheiten: Diagnostik - Therapie - orthopädischer Beschlag - Kapitel 8: Bildgebende Verfahren - Relevante Röntgenprojektionen für den Hufschmied [Buch] / Hrsg. FLOYD A. E. und MANSMANN R. A.. - München : Elsevier GmbH, 2009. - S. 182-187.

REESE S. // Persönliche Mitteilungen vom 15.07.2014. - München, 2014.

RENDANO V. T. und GRANT B. The equine third phalanx: Its radiographic appearance [Artikel] // Journal of the American College of Veterinary Radiology: Veterinary Radiology & Ultrasound / Hrsg. JONES J. C.. - West Virginia : [s.n.], 1978. - 19. - 4. - S. 125-135.

RIEGEL R. J. und HAKOLA S. E. Bild-Text-Atlas zur Anatomie und Klinik des Pferdes: Bewegungsapparat und Lahmheit [Buch]. - Hannover : Schlütersche Verlagsgesellschaft GmbH & Co. KG, 2010. - S. 17, 128-129 und 152-161.

RIJKENHUIZEN, A. B., NÉMETH, F.; DIK, K. J., GOEDEGEBOURE, S. A., VAN DE BROM, W. E. The effect of artificial occlusion of the Ramus navicularis and its branching arteries on the navicular bone in horses: an experimental study. [Artikel] // Equine Veterinary Journal / Hrsg. MARR C. M.. - [s.l.] : EVJ Ltd, 1989. - S. 425-430.

ROBINSON N. E. Digital blood flow, arteriovenous anastomoses and laminitis [Artikel] // Equine Vet Journal / Hrsg. MARR C. M.. - [s.l.] : EVJ Ltd, 1990. - 6 : Bd. 22. - S. 381-383.

ROSS M. W. und STACY V. S. Diagnosis and Management of Lameness in the Horse - Chapter 19: Nuclear Medicine [Buch] / Hrsg. ROSS M. W. und DYSON S. J.. - St. Louis : Saunders, 2003. - S. 198-212.

RUCKER AMY Hufkrankheiten: Diagnostik - Therapie - orthopädischer Beschlag - Kapitel 15: Digitales Venogramm [Buch] / Hrsg. FLOYD A. E. und MANSMANN R.. - München : Elsevier GmbH, 2009. - S. 333-351.

SALOMON F.-V. und GEYER H., Co-Autoren: CERNY H., FERSTERRA M. und GILLE U. Atlas der angewandten Anatomie der Haustiere - Vordergliedmaße des Pferdes [Buch] / Hrsg. SALOMON F.-V. und GEYER H.. - Stuttgart : MVS Medizinverlag, 2007. - S. 158-174.

SCHEBITZ H. und WILKENS H. Atlas der Röntgenanatomie des Pferdes - Schultergliedmaße [Buch]. - Stuttgart : Parey Verlag, 2009. - S. 68 - 77.

SCHNEIDER H.-J. Handbuch Pferdepraxis - Hufrehe (Pododermatitis diffusa aseptica) [Buch] / Hrsg. DIETZ O. und HUSKAMP B.. - Stuttgart : Enke Verlag, 1999. - S. 916-918.

SMITH THOMAS H. Understanding Equine Hoof Care - Kapitel 8: Corrective and Therapeutic Shoeing [Buch]. - Lexington : Blood-Horse Publications, 2006. - S. 122-137.

TAYLOR F. G.R. und HILLYER M. H. Klinische Diagnostik in der Pferdepraxis - Hufrehe (Pododermatitis aseptica diffusa) [Buch]. - Hannover : Schlütersche, 2004. - S. 293 - 297.

THRALL D. E. Textbook of Veterinary Diagnostic Radiology [Buch]. - Philadelphia, Toronto, London : W.B. Saunders Company, 1994.

TROUT, D. R., HORNOF, W. J., LINFORD, R. L., O'BRIEN, T. R. Scintigraphic evaluation of the digital circulation during the developmental and acute phases of equine laminitis [Artikel] // Equine Veterinary Journal / Hrsg. MARR C. M.. - [s.l.] : EVJ Ltd, 1990. - 6 : Bd. 22. - S. 416-421.

WAIBL H., WILKENS H. und MÜNSTER W. Lehrbuch der Anatomie der Haustiere - Arterien, Arteriae; Venen, Venae [Buch] / Hrsg. HABERMEHL K.-H. [et al.]. - Stuttgart : Parey Verlag, 2005. - Bde. 3 - Kreislaufsystem, Haut und Hautorgane : S. 74-188; 189-275.

WATTLE O. und POLITT C. C. Lamellar Metabolism [Artikel] // Clinical Techniques in Equine Practice / Hrsg. ORSINI J. A.. - Philadelphia, London, Toronto : Saunders Company, 2004. - Laminitis. - S. 22-23.

WISSDORF H., GERHARDS H., HUSKAMP B. und DEEGEN E. Praxisorientierte Anatomie und Propädeutik des Pferdes [Buch] / Hrsg. WISSDORF H. - Hannover : M. & H. Schaper GmbH, 2010. - S. 375-399.

WHITTON C., MURRAY R. C. und DYSON S. J. Diagnosis and Management of Lameness in the Horse - Chapter 21: Magnetic Resonance Imaging [Buch] / Hrsg. ROSS M. W. und DYSON S. J.. - St. Louis : Saunders, 2003. - S. 216-222.

IX. ANHANG

Da es sich beim Anhang um sehr große Datenmengen handelt, wurde auf deren Ausdruck verzichtet. Die Informationen sind jedoch als digitale Version einsehbar und auf der letzten Seite als DVD angefügt.

X. DANKSAGUNG/ACKNOWLEDGEMENTS

Eine wissenschaftliche Arbeit ist nicht das Werk einer einzelnen Person, weshalb ich an dieser Stelle die Menschen erwähnen möchte, die dessen Entstehung überhaupt erst ermöglicht haben.

Ich möchte mich herzlich bei meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. Hartmut Gerhards, für die Annahme meines Themas und die jederzeit gewährte freundliche und fachliche Unterstützung bei dessen Ausarbeitung bedanken.

Ein weiterer großer Dank geht an alle Mitarbeiter des Kenmare Veterinary Centre in Kenmare, Irland, im Besonderen an dessen Inhaber, Herrn Hendrik Offereins, DVM, MRCVS, für die stetige Unterstützung und die Bereitstellung der Untersuchungsräume, Materialien und Gerätschaften.

Bedanken möchte ich mich auch beim Pathologischen Institut des Irish Equine Centre in Kildare, Irland, besonders bei Frau Ursula Fogarty, MVB, PhD, MRCVS, Dip.Stat, die mir mit ihrem großen Erfahrungsschatz zur Seite stand und die Bereitstellung der Untersuchungsobjekte und Informationen sicherte.

Herrn Dr. Sven Reese danke ich für die kompetente Hilfe bei der Erstellung der Statistik.

Ich bedanke mich an dieser Stelle auch bei vielen Freunden für ihre liebe Unterstützung, ihre Aufmunterungen sowie für die entgegengebrachte Nachsicht.

Mein größter Dank gilt meiner Familie, meiner Schwester Daniela für die immerwährende emotionale Unterstützung in allen Belangen und meinen Großeltern für die großzügige finanzielle Förderung meiner Ausbildung. Ganz besonders dankbar bin ich meinen Eltern Christa und Peter für die immense Unterstützung in allen Lebenslagen und für ihre stets liebevoll und weltoffene Erziehung. Weit über die schulische und wissenschaftliche Ausbildung hinaus durfte ich durch sie wertvolle Erfahrungen machen und mit ihnen teilen.

Schließlich, jedoch keineswegs zuletzt möchte ich mich bei meinem Freund Seán O'Connor für die immer gewährte Unterstützung ganz herzlich bedanken. Er hat immer an mich geglaubt und es stets verstanden, mich in den richtigen Momenten zu motivieren. Vielen Dank.

A dissertation is never just the work of a single person, which is why I would like to mention a few people for without them, it would have been impossible.

I would like to sincerely thank my German academic supervisor (“Doktorvater”), Prof. Dr. Hartmut Gerhards for accepting my topic and the friendly and professional support for its elaboration at all times.

Another big thank to the staff of the Kenmare Veterinary Centre, Kenmare, Ireland, in particular to its owner, Mr. Hendrik Offereins, DVM, MRCVS, for the consistent support and the supply of the examination area, materials and tools.

I would also like to thank the Pathology Unit of the Irish Equine Centre, Kildare, Ireland, in particular Mrs. Ursula Fogarty, MVB, PhD, MRCVS, Dip.Stat, who provided me with her great wealth of experience and the supply of the objects of research.

I would like to thank Dr. Sven Reese for his professional support with the compilation of the statistics.

At this point, I would also like to thank a lot of friends for their kind support, their encouragement and their leniency.

My biggest thank goes to my family, my sister Daniela for the continuing emotional support in all matters and my grandparents for the generous financial support during my education. I am most grateful to my parents Christa and Peter for the enormous support in all my stages of life and for the loving and open-minded upbringing they have given me. Far beyond my school and academic education, they made it possible for me to gain many valuable experiences and share them with them.

Last but far from least, I would like to say my heartfelt thanks to my partner Seán O’Connor for his support at all times. He has believed in me at all times and could always motivate me at the right moment. Thank you so much.